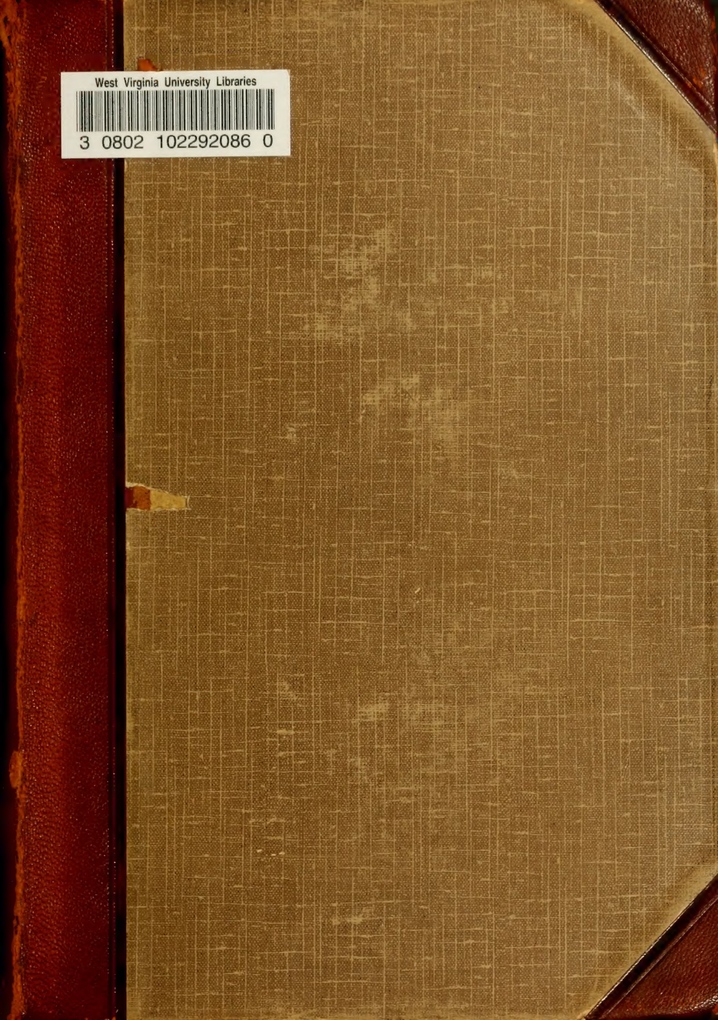
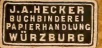

West Virginia University Libraries
3 0802 102292086 0


J.A.HECKER
BUCHBINDEREI
PAPIERHANDLUNG
WÜRZBURG

HANDBUCH

DER

GESAMTEN AUGENHEILKUNDE

ZWEITE NEUBEARBEITETE AUFLAGE

ACHTER BAND

ZWEITE ABTEILUNG

GRAEFE-SAEMISCH

HANDBUCH

DER

GESAMTEN AUGENHEILKUNDE

UNTER MITWIRKUNG

VON

PROF. ST. BERNHEIMER IN INNSBRUCK, DR. A. BIELSCHOWSKY IN LEIPZIG, PROF. O. EVERSBUSCH IN MÜNCHEN, DR. A. FICK IN ZÜRICH, † PROF. ALFRED GRAEFE IN WEIMAR, PROF. R. GREEFF IN BERLIN, PROF. A. GROENOUW IN BRESLAU, DR. HEDDAEUS IN ESSEN, PROF. E. HERING IN LEIPZIG, PROF. C. HESS IN WÜRZBURG, PROF. E. VON HIPPEL IN HEIDELBERG, PROF. J. HIRSCHBERG IN BERLIN, PROF. E. KALLIUS IN GÖTTINGEN, DR. MED. ET PHILOS. A. KRAEMER IN SAN DIEGO, PROF. E. KRÜCKMANN IN LEIPZIG, DR. EDMUND LANDOLT IN PARIS, PROF. TH. LEBER IN HEIDELBERG, PROF. F. MERKEL IN GÖTTINGEN, PROF. J. VON MICHEL IN BERLIN, PROF. M. NUSSBAUM IN BONN, DR. A. PÜTTER IN GÖTTINGEN, PROF. TH. SAEMISCH IN BONN, PROF. H. SATTLER IN LEIPZIG, PROF. O. SCHIRMER IN GREIFSWALD, PROF. G. SCHLEICH IN TÜBINGEN, PROF. H. SCHMIDT-RIMPLER IN HALLE A/S., PROF. OSCAR SCHULTZE IN WÜRZBURG, PROF. H. SNELLEN IN UTRECHT, PROF. H. SNELLEN JR. IN UTRECHT, PROF. W. UHTHOFF IN BRESLAU, PROF. HANS VIRCHOW IN BERLIN, PROF. A. WAGENMANN IN JENA

HERAUSGEGEBEN

VON

PROF. DR. THEODOR SAEMISCH IN BONN

ZWEITE NEUBEARBEITETE AUFLAGE

ACHTER BAND

ZWEITE ABTEILUNG

C. HESS, DIE ANOMALIEN DER REFRAKTION UND AKKOMMODATION DES AUGES MIT EINLEITENDER DARSTELLUNG DER DIOPTRIK DES AUGES

MIT 105 ABBILDUNGEN IM TEXT

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1903

Inhalt

der zweiten Abteilung des achten Bandes.

Kapitel XII.

Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges mit einleitender Darstellung der Dioptrik des Auges

von **C. Hess.**

Mit 105 Abbildungen im Text.

Kapitel XII.

Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges mit einleitender Darstellung der Dioptrik des Auges.

Von

Carl Hess,
Professor in Würzburg.

Mit 105 Figuren im Text.

Eingegangen im Mai 1902.

Abschnitt I.

Geometrische Optik.

§ 1. Die geometrische Optik, deren Kenntnis in ihren Grundzügen zum Verständnisse der Dioptrik des Auges unerlässlich ist, gründet sich auf die drei (nur zum Teile genau zutreffenden) Gesetze der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes, der Unabhängigkeit verschiedener, von verschiedenen Lichtquellen kommender Strahlen von einander, und der Richtungsänderung der Strahlen an der Grenze zweier Medien von verschiedener optischer Dichtigkeit (durch Reflexion und durch Brechung).

Wenn hier und im folgenden von »Lichtstrahlen« die Rede ist, so darf nicht vergessen werden, dass solche im eigentlichen Sinne nicht bestehen; es handelt sich vielmehr nur um einen geometrischen Begriff ohne reale Existenz, nämlich um die geraden Verbindungslinien zwischen dem leuchtenden und dem beleuchteten Punkte. Nur in diesem Sinne kann von einem »Strahlengang« bei der GAUSS'schen Abbildungslehre u. s. w. die Rede sein.

Die Richtungsänderung der Lichtstrahlen an der Grenze zweier Medien vollzieht sich nach den beiden folgenden Gesetzen:

1. der Reflexionswinkel (d. i. der Winkel, den der reflektierte Strahl mit dem Einfallslote bildet), ist gleich dem Einfallswinkel: $\gamma = -\alpha$.

2. Der Sinus des Einfallswinkels α verhält sich zu dem Sinus des Brechungswinkels β, wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $v_{,}$ des Lichtes im ersten Medium zu jener $v_{,,}$ im zweiten; das Verhältnis ist also eine konstante Grösse (Snellius 1626, Cartesius 1637).

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_{,}}{v_{,,}} = \text{const.} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Fig. 1.

Der reflektierte, wie der gebrochene Strahl liegen in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallslot bestimmten Ebene.

Diese Grundgesetze bestehen zu Recht unabhängig von den Vorstellungen, die wir uns über die Natur des Lichtes machen. Die Abweichungen von dem Gesetze der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes, welche in den Beugungserscheinungen zum Ausdrucke kommen, können für unsere Erörterungen zunächst noch außer Betracht bleiben.

Das Verhältnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in zwei Medien von verschiedener optischer Dichtigkeit wird konventionell mit dem Buchstaben n bezeichnet und Brechungsindex oder Brechungsexponent genannt; er giebt also an, wieviel mal die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im ersten Medium größer oder kleiner ist, als die im zweiten.

Als absoluten Brechungsexponenten bezeichnet man den Wert von n für den Übergang aus dem luftleeren Raume in ein gegebenes Mittel, als relativen denjenigen für den Übergang aus einem Mittel in ein zweites von anderer optischer Dichtigkeit. Da bei dem Übergange des Lichtes aus dem leeren Raume in Luft nur eine sehr geringe Brechung erfolgt, kann man für die hier in Betracht kommenden Aufgaben den Brechungsindex der Luft = 1 setzen (genau = 1,0002429 für ein der Linie D des Spektrums entsprechendes Licht). Bezeichnet $n_{,}$ den absoluten Brechungsindex des ersten, $n_{,,}$ den des zweiten Mediums, so ist $n = \frac{v_{,}}{v_{,,}} = \frac{n_{,,}}{n_{,}}$. Danach kann das Brechungsgesetz auch in der folgenden Form geschrieben werden:

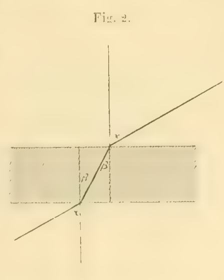
$$n_{,} \sin\alpha = n_{,,} \sin\beta \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Ist das erste Medium Luft, also $n_{,} = 1$, so wird (da dann $n_{,,} = n$)

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n.$$

Geht ein Lichtstrahl aus einem optisch dichteren in ein dünneres Mittel über (ist also $n < 1$), so wird er nach dem Brechungsgesetze vom Lote weg gebrochen. Strahlen, die aus Luft durch eine planparallele Glasplatte wieder in Luft übertreten, gehen also in ihrer ursprünglichen Richtung, aber etwas seitlich verschoben, weiter. Aus dem Brechungsgesetze geht ferner hervor, dass der Strahlenverlauf für die eintretenden und austretenden Strahlen umkehrbar ist.

Fig. 2.



Hat bei Übergang aus einem dichteren in ein dünneres Mittel der Einfallswinkel eine bestimmte Größe erreicht, so tritt der Lichtstrahl überhaupt nicht mehr in das dünnere Medium über, sondern wird an der Grenze beider in das dichtere Medium reflektiert: **Totale Reflexion.** Der Winkel, bei welchem diese eintritt, heißt der Grenzwinkel der totalen Reflexion. Aus der Gleichung $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$ folgt, dass dieser Grenzwinkel erreicht ist, wenn $\beta = 90^\circ$, also $\sin\beta = 1$ geworden ist; dann erhält man $\sin\alpha = n$.

So ergeben sich z. B. für den Grenzwinkel der totalen Reflexion bei Übergang in Luft aus Wasser: 48° 47′, aus Crownglas ca. 40° 49′, aus Flintglas ca. 37° 36′. Für den Übergang von Lichtstrahlen aus den Rindenteilen der menschlichen Linse (Index = 1,39) in Kammerwasser (Index = 1,3365) ist der Grenzwinkel = 74°.

§ 2. Brechung des Lichtes an einer Kugelfläche.

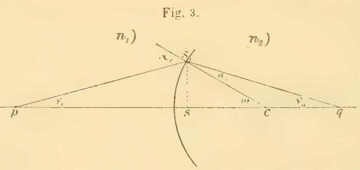
Die Untersuchung der Richtungsänderung des einfallenden Lichtes an einer brechenden Kugelfläche wird wesentlich vereinfacht, wenn man die Bedingung als erfüllt voraussetzt, dass die zu untersuchenden Lichtstrahlen mit der Achse so kleine Winkel bilden, dass die den letzteren entsprechenden Bogen im Verhältnis zu dem Krümmungsradius der Fläche sehr klein sind. Unter dieser Voraussetzung können $\sin x = \operatorname{tang} x = x$, $\cos x = 1$, also statt des Sinus und der Tangente der Winkel selbst, statt des Cosinus 1 gesetzt werden. Inwieweit eine derartige Vereinfachung noch zulässig ist, ergiebt sich z. B. daraus, dass für einen Winkel von 10° der Unterschied zwischen dem Bogen und dessen Sinus, bezw. Tangente erst in der dritten Dezimale bemerkbar wird (Arcus = 0,1745; sin = 0,1736; tang = 0,1763), und dass der Cosinus des gleichen Winkels = 0,9848, also von 1 nur sehr wenig verschieden ist. Strahlen, welche die genannte Bedingung erfüllen,

werden Centralstrahlen oder Nullstrahlen genannt. Nur für sie gelten die im folgenden abgeleiteten Gesetze. Bilden die Strahlen mit der Achse größere Winkel („Randstrahlen“), so treten u. a. die als sphärische Aberration bekannten Abweichungen von diesen Gesetzen auf (vgl. § 16).

Bei den folgenden Erörterungen untersuchen wir zunächst nur solche einfallende Strahlen, welche in einer die Achse enthaltenden Ebene gelegen sind, also die Achse (unter einem sehr spitzen Winkel) schneiden. Da der gebrochene Strahl in der gleichen Ebene wie der einfallende gelegen ist, so können wir alle Betrachtungen auf Strahlen beschränken, die in einer einzigen Ebene liegen.

Bezüglich der Vorzeichen der in Rechnung gezogenen Werte möge ein für allemal folgendes festgesetzt werden: Es wird angenommen, dass das einfallende Licht von links kommt, also sich von links nach rechts fortbewegt. Es werden ferner auf der optischen Achse alle vom Scheitelpunkte der brechenden Fläche nach rechts, also in der Bewegungsrichtung des Lichtes gelegenen Abstände positiv gerechnet, alle nach links vom Scheitelpunkte gelegenen Abstände negativ. r ist also positiv, bezw. negativ, je nachdem die brechende Fläche dem einfallenden Lichte ihre Konvexität, bezw. Konkavität zukehrt.

Fig. 3.



$ps = f_{,}$; $sq = f_{,,}$; $sc = r$; $pc = g_{,}$; $cq = g_{,,}$;
daher $f_{,} = g_{,} - r$; $f_{,,} = g_{,,} + r$.

Ein vom Punkte p ausgehender Strahl treffe die brechende sphärische Fläche in dem Punkte $s_{,}$; der Winkel, den der Strahl mit dem Einfallslote (d. i. mit dem Radius $cs_{,}$ in dem Punkte $s_{,}$) macht, werde mit $\alpha_{,}$, der entsprechende Brechungswinkel mit $\alpha_{,,}$ bezeichnet. Die Richtung des gebrochenen Strahles ist dann bestimmt durch die Formel $n_{,} \sin \alpha_{,} = n_{,,} \sin \alpha_{,,}$, oder wegen der Kleinheit der Winkel $n_{,}\alpha_{,} = n_{,,}\alpha_{,,}$.

Da sich die Sinus der Winkel eines Dreiecks verhalten, wie die gegenüberliegenden Seiten, so haben wir (unter Berücksichtigung, dass $\sin (180 - \alpha) = \sin \alpha$)

$$\frac{\alpha_{,}}{\omega} = \frac{-f_{,} + r}{-f_{,}}$$

$$\frac{\alpha_{,,}}{\omega} = \frac{f_{,,} - r}{f_{,,}}.$$

Durch Division erhalten wir:

$$\frac{\alpha_{,}}{\alpha_{,,}} = \frac{-f_{,} + r}{-f_{,}} \cdot \frac{f_{,,}}{f_{,,} - r} = \frac{-f_{,} + r}{f_{,,} - r} \cdot \frac{f_{,,}}{-f_{,}}$$

da

$$\frac{\alpha_{,}}{\alpha_{,,}} = \frac{n_{,,}}{n_{,}}$$

so ergiebt sich

$$\frac{n_{,,}}{n_{,}} \cdot \frac{-f_{,}}{f_{,,}} = \frac{-f_{,} + r}{f_{,,} - r}$$

und durch einfache Umformung:

$$\frac{n_{,,}}{f_{,,}} - \frac{n_{,}}{f_{,}} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Diese Gleichung zeigt, dass für einen bestimmten Wert von $f_{,}$ sich ein bestimmter Wert für $f_{,,}$ ergiebt: Die aus einem Punkte p kommenden Strahlen vereinigen sich nach der Brechung wieder in einem Punkte, »homocentrische« Centralstrahlen sind auch nach der Brechung homocentrisch.

In dem durch Fig. 3 veranschaulichten Falle vereinigen sich die gebrochenen Strahlen selbst in q zu einem Bilde des Punktes p; man bezeichnet das Bild unter diesen Umständen als ein reelles. Setzen wir den Fall, dass in der Figur 3 das erste Medium dichter als das zweite sei, oder aber, dass die brechende Fläche ihre Konkavität dem dünneren Mittel zuwende, so werden sich die gebrochenen Strahlen nicht selbst zu einem Bilde vereinigen, sondern ihre nach rückwärts verlängerten Fortsetzungen. In diesem Falle nennt man das Bild virtuell. Das Vorzeichen, welches sich für $f_{,,}$ bei bestimmten Werten von $f_{,}$, r und n ergiebt, zeigt an, ob der Bildpunkt links oder rechts vom Scheitel der brechenden Fläche gelegen ist.

Der Gang der Strahlen lässt sich in der Weise umkehren, dass der Bildpunkt q als Objektpunkt angesehen wird; die von ihm ausgehenden Strahlen vereinigen sich wieder im Punkte p, welcher dann das Bild von q ist; diese beiden Punkte werden daher als konjugierte bezeichnet.

§ 3. Die Diskussion der Gleichung 3 führt zu folgenden Ergebnissen: Wenn sich der Objektpunkt in unendlicher Enfernung befindet, also $-f_{,} = \infty$, so wird

$$\frac{n_{,,}}{f_{,,}} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r}.$$

Nach dieser Gleichung lässt sich der Vereinigungspunkt parallel auf eine sphärische Fläche auffallender Strahlen bezw. der zu einem unendlich entfernten Objektpunkte konjugierte Bildpunkt finden. Dieser Punkt wird der zweite Hauptbrennpunkt, sein Abstand vom Scheitel der Fläche die zweite Hauptbrennweite genannt; letztere möge mit $F_{,,}$ bezeichnet werden; es ist

$$F_{,,} = \frac{n_{,,} r}{n_{,,} - n_{,}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Die im Brennpunkte zur Achse senkrecht gelegte Ebene heißt Brennebene.

Nähert sich das Objekt von links her dem Scheitel der brechenden Fläche, so wandert das Bild in gleichem Sinne, d. h. gleichfalls von links nach rechts von der brechenden Fläche weg (»rechtläufige Abbildung«). Wenn das Bild bis in unendliche Entfernung gerückt ist, also $f_{\prime\prime} = \infty$, so befindet sich das Objekt im ersten Hauptbrennpunkte, dessen Abstand vom Scheitel der brechenden Fläche die erste Hauptbrennweite heißt und mit $F_{\prime}$ bezeichnet werden möge. Es ist

$$F_{\prime} = -\frac{n_{\prime} r}{n_{\prime\prime} - n_{\prime}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4a)$$

$F_{\prime}$ ist negativ, $F_{\prime\prime}$ positiv, wenn $n_{\prime\prime} - n_{\prime}$ und r die gleichen Vorzeichen haben, also der Krümmungsmittelpunkt der brechenden Fläche im optisch dichteren Medium liegt; ein solches System heißt ein konvergentes. In divergenten Systemen ist $F_{\prime}$ positiv, $F_{\prime\prime}$ negativ; dies ist der Fall, wenn $n_{\prime\prime} - n_{\prime}$ und r entgegengesetzte Vorzeichen haben.

(Für manche Berechnungen ist es bequemer, den beiden Brennweiten eines brechenden Systems gleiches Vorzeichen zu geben und zwar für sammelnde (konvergente) Systeme beiden Brennweiten, ebenso wie der Brechkraft positives Vorzeichen, für zerstreuende negatives; die Objektabstände etc. werden dabei aber in der Lichtrichtung positiv gerechnet; für diese Wahl der Vorzeichen ist $F_{\prime} = \frac{n_{\prime} r}{n_{\prime\prime} - n_{\prime}}$ und es ändern sich dementsprechend auch die späteren Gleichungen; so wird z. B. $\frac{F_{\prime}}{F_{\prime\prime}} = \frac{n_{\prime}}{n_{\prime\prime}}$; $F_{\prime} - F_{\prime\prime} = r$ u. s. w.).

Durch Division der Gleichungen 4 u. 4a erhalten wir

$$\frac{F_{\prime}}{F_{\prime\prime}} = -\frac{n_{\prime}}{n_{\prime\prime}}$$

d. h. die Abstände der Brennpunkte vom Scheitel der brechenden Fläche verhalten sich wie die Brechungsindices der zugehörigen Medien. Ferner geht aus der Gleichung hervor, dass die Brennpunkte immer auf entgegengesetzten Seiten der brechenden Fläche liegen.

Durch Addition von 4 u. 4a erhält man:

$$F_{\prime} + F_{\prime\prime} = r$$

woraus folgt, dass der Abstand des Krümmungsmittelpunktes der brechenden Fläche vom zweiten Brennpunkte dem absoluten Werte nach gleich ist dem Abstande des ersten Brennpunktes vom Scheitel der Fläche.

Für den Scheitelpunkt der Fläche wollen wir schon hier, aus später ersichtlichen Gründen, die Bezeichnung Hauptpunkt, und für den Krümmungsmittelpunkt die Bezeichnung Knotenpunkt einführen; dann lautet der vorstehende Satz: Der Abstand des Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte ist dem absoluten Werte nach gleich dem Abstande des ersten Brennpunktes vom Hauptpunkte, d. i. gleich der ersten Hauptbrennweite.

Eine in dem Haupt- bezw. Knotenpunkte zur Achse senkrecht gelegte Ebene heißt Hauptpunktsebene bezw. Knotenpunktsebene.

Bei vielen Berechnungen wird die Wahl der Vorzeichen in anderer Weise getroffen, als es oben geschah. Unter der Voraussetzung, dass wiederum das Licht von links komme, rechnet man nämlich häufig die Abstände des Objektes vom Scheitel der brechenden Fläche positiv, wenn das Objekt vor der brechenden Fläche liegt, die Abstände des Bildes dagegen positiv, wenn das Bild hinter der brechenden Fläche liegt. In den obigen Rechnungen wird danach $f_{,,}$ und $f_{,}$ positiv genommen, wenn das von links kommende Licht zuerst das Objekt, dann die brechende Fläche, dann das Bild trifft.

Für diese Wahl der Vorzeichen erhält Gleichung 3 die Form:

$$\frac{n_{,}}{f_{,}} + \frac{n_{,,}}{f_{,,}} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(3a)}$$

Die erste und die zweite Hauptbrennweite haben dann beide gleiches Vorzeichen, sind entweder beide positiv oder beide negativ, ihr Produkt ist also immer positiv. Das Verhältnis der Brennweiten ist $\frac{F_{,}}{F_{,,}} = \frac{n_{,}}{n_{,,}}$.

Auch im folgenden werden wir gelegentlich von dieser Bezeichnungsweise Gebrauch machen.

Wenn man die Werte der Hauptbrennweiten in die Formel (3) für konjugierte Bildabstände einführt, so erhält man die folgenden viel gebrauchten Formeln:

Division der Gleichung 3 durch $\frac{n_{,,} - n_{,}}{r}$ ergiebt

$$\frac{1}{f_{,,}} \cdot \frac{n_{,,}\, r}{n_{,,} - n_{,}} - \frac{1}{f_{,}} \cdot \frac{n_{,}\, r}{n_{,,} - n_{,}} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots \text{(5)}$$

oder nach Gleichung 4 u. 4 a

$$\frac{F_{,}}{f_{,}} + \frac{F_{,,}}{f_{,,}} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(6)}$$

woraus folgt:

$$\left.\begin{aligned} f_{,} &= \frac{F_{,} f_{,,}}{f_{,,} - F_{,,}} \\ f_{,,} &= \frac{F_{,,} f_{,}}{f_{,} - F_{,}} \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(6a)}$$

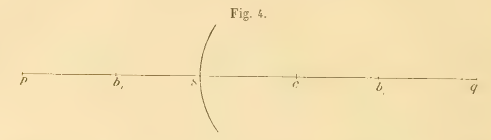
Für den Übergang der Strahlen aus Luft in ein anderes Mittel ist $n_{,} = 1$, $n_{,,} = n$, daher lauten dann die obigen Formeln:

$$\left.\begin{aligned} \frac{n}{f_{,,}} - \frac{1}{f_{,}} &= \frac{n-1}{r} \\ F_{,} &= -\frac{r}{n-1} \\ F_{,,} &= \frac{n\, r}{n-1} \\ \frac{F_{,,}}{F_{,}} &= -n \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(6b)}$$

§ 4. Brennpunkts-Gleichung. Bis hierher maßen wir die Abstände der konjugierten Punkte vom Scheitel der brechenden Fläche. Eine einfache Formel für die Lage dieser Punkte auf der Achse ergiebt sich auch, wenn man ihre Abstände von den beiden Hauptbrennpunkten misst, wobei wiederum die gleichen Voraussetzungen betreffs der Vorzeichen gelten, wie oben. Bezeichnen wir mit $l_{,}$ bezw. $l_{,,}$ die Abstände des Objekts vom ersten, bezw. des Bildes vom zweiten Brennpunkte, so ergiebt sich aus Fig. 4

$$f_{,} = l_{,} + F_{,}; \qquad f_{,,} = l_{,,} + F_{,,}$$
$$f_{,} - F_{,} = l_{,} \qquad f_{,,} - F_{,,} = l_{,,}.$$

Fig. 4.



$$sp = f_{,} \quad sq = f_{,,} \quad sb_{,} = F_{,} \quad sb_{,,} = F_{,,}; \quad pb_{,} = l_{,} = f_{,} - F_{,};$$
$$qb_{,,} = l_{,,} = f_{,,} - F_{,,}.$$

Durch Multiplikation der beiden Gleichungen 6a miteinander erhält man:

$$(f_{,} - F_{,})(f_{,,} - F_{,,}) = F_{,}F_{,,} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

oder durch Einsetzen der Werte $l_{,}$ und $l_{,,}$

$$l_{,}l_{,,} = F_{,}F_{,,} \text{ (NEWTON'sche Formel)} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

(Nimmt man beide Brennweiten für sammelnde Systeme positiv, so lautet die Formel $l_{,}l_{,,} = - F_{,}F_{,,}$, wenn die Objekt- und Bildabstände in der Lichtrichtung positiv gerechnet werden.)

Endlich erhält man einfache Formeln auch, wenn man die Abstände der konjugierten Punkte von dem Krümmungsmittelpunkte (= Knotenpunkte) der brechenden Fläche misst. Bezeichnet man diese Abstände mit $g_{,}$ und $g_{,,}$, ferner die Abstände der Knotenpunkte vom ersten bezw. zweiten Hauptbrennpunkte mit $G_{,}$ bezw. $G_{,,}$ und rechnet diese positiv, bezw. negativ, wenn der Knotenpunkt (bei von links kommendem Lichte) rechts, bezw. links von dem betreffenden Brennpunkte liegt, so dass $G_{,} = - F_{,} + r$ und $- G_{,,} = F_{,,} - r$ ist, so erhält man da $F_{,} + F_{,,} = r$, also $F_{,,} - r = - F_{,}$ ist:

$$G_{,} = F_{,,}; \quad G_{,,} = F_{,}.$$

Durch Einsetzen dieser Werte in die früheren Gleichungen erhalten wir für die Knotenpunktsabstände konjugierter Punkte die Formeln:

$$\frac{G_{,}}{g_{,}} + \frac{G_{,,}}{g_{,,}} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

$$\left.\begin{aligned} g_{,} &= \frac{G_{,}\, g_{,,}}{g_{,,} - G_{,,}} \\ g_{,,} &= \frac{G_{,,}\, g_{,}}{g_{,} - G_{,}} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 9\text{a})$$

§ 5. Einen Maßausdruck für die Brechkraft einer brechenden Fläche können wir nach GULLSTRAND (1899) auf dem folgenden Wege gewinnen.

Setzt man in Gleichung (3) statt $\frac{n_{,,} - n_{,}}{r}$ den aus (4) sich ergebenden Wert $\frac{n_{,,}}{F_{,,}}$, so kann, wenn man beiden Brennweiten des Systems gleiches Vorzeichen giebt (s. o.), da dann $\frac{n_{,,}}{F_{,,}} = \frac{n_{,}}{F_{,}}$, die Gleichung (3) in folgender Form geschrieben werden:

$$\frac{n_{,,}}{f_{,,}} = \frac{n_{,}}{f_{,}} + \frac{n_{,}}{F_{,}} = \frac{n_{,}}{f_{,}} + \frac{n_{,,}}{F_{,,}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 10)$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass der reciproke Wert des durch den zugehörigen Brechungsindex dividierten Objektabstandes bei der Brechung einen nur von den optischen Eigenschaften des brechenden Systems abhängigen Zuwachs erhält, um nach der Brechung gleich dem reciproken Werte des durch den zugehörigen Brechungsindex dividierten Bildabstandes (beide vom Scheitel der brechenden Fläche gemessen) zu sein.

Die »Convergenz« des einfallenden bezw. des gebrochenen Strahlenbündels wird gemessen durch den reciproken Wert der Abstände des Objekt- bezw. Bildpunktes von der brechenden Fläche. Die in dieser Weise ausgedrückte Convergenz ist zugleich das Maß der Krümmung einer durch den betreffenden Punkt gehenden und auf sämtlichen Strahlen senkrechten Fläche, der Wellenfläche, in einem Normalschnitte; Convergenz wie Flächenkrümmung können somit in gleicher Weise, wie die Brechkraft einer Linse, d. h. durch die Dioptrie (s. § 6) gemessen werden, da diese als Einheit ja nichts anderes darstellt, als den reciproken Wert des Meters.

Aus der Definition der Convergenz ergiebt sich, dass einer Division des Abstandes konjugierter Punkte eine Multiplikation der Convergenz gleich kommt, und die Formel (10) drückt somit ein einfaches Additionsverhältnis aus zwischen den beiden mit ihren betreffenden Brechungsindices multiplizierten Convergenzwerten und einer konstanten, nur von den optischen Eigenschaften des brechenden Systems abhängigen Größe.

Um die Abstände von Objekt- und Bildpunkten, die sich in verschiedenen brechenden Medien befinden, untereinander vergleichen zu können, müssen diese Abstände erst auf ein und dasselbe Medium reduziert

werden, wenn die Gleichung eine Additionsformel commensurabler Größen darstellen soll. Im folgenden werden, um die Rechnung mit Dioptrien zu ermöglichen, die Convergenzwerte, bezw. die Brechkräfte auf Luft reduziert und die so gewonnenen Werte kurz als reduzierte Convergenzen (Gullstrand) bezw. Brechkräfte bezeichnet. Eine solche Reduktion erfolgt einfach durch Multiplikation des Convergenzwertes (bezw. Division des Abstandes) mit dem betreffenden Brechungsindex; ist b der Abstand des im Medium mit dem Index n gelegenen Bildpunktes, $\frac{1}{b}$ also die Convergenz des Strahlenbündels in diesem Medium, so ist seine reduzierte Convergenz $= \frac{n}{b}$.

§ 6. **Zur Messung der Brechkraft von Linsen, die beiderseits von** Luft umgeben sind, bedient sich die Ophthalmologie bekanntlich (seit Nagel und Monoyer) der Dioptrie. Diese wird definiert als die Brechkraft einer **in Luft befindlichen Linse von 1 m Brennweite.** Wir können aber nach dem Gesagten die Brechkraft beliebiger Systeme, auch solcher, bei welchen das letzte Medium vom ersten verschieden ist, in Dioptrien ausdrücken, wenn wir die betreffenden Werte auf Luft reduzieren. Hierfür ist eine erweiterte Definition des Begriffes der Dioptrie nötig, die sich aus den obigen Erörterungen ergiebt. Gullstrand hat ihr die folgende Fassung gegeben: Die Dioptrie ist die Einheit des reciproken Wertes einer durch Division mit dem betreffenden Brechungsindex reduzierten, in Metern gemessenen Haupt- oder Konjugatbrennweite. Ist z. B. die Hauptbrennweite einer Linse in einem Medium, dessen Index $n = 1{,}3$ ist, 13 cm, so ist die reduzierte Brennweite $= \frac{13}{1{,}3} = 10 \text{ cm} = \frac{1}{0{,}1 \text{ m}} = 10$ Dioptrien.

Setzen wir in Formel (10)

$$\frac{n_{\prime}}{f_{\prime}} = A; \quad \frac{n_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime}} = B; \quad \frac{n_{\prime}}{F_{\prime}} \quad \frac{n_{\prime\prime}}{F_{\prime\prime}} = D$$

und messen wir die Abstände $F_{\prime}$, $F_{\prime\prime}$, $f_{\prime}$, $f_{\prime\prime}$ in Metern, so lautet das allgemein gültige Brechungsgesetz

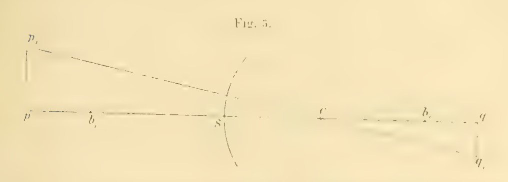
$$B = A + D \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

worin A, B und D die Maße der reduzierten Convergenz des einfallenden und des gebrochenen Strahlenbündels, bezw. die Brechkraft des brechenden Systems ausdrücken: Die reduzierte Convergenz eines Strahlenbündels wird durch die Brechung in einem beliebigen optischen System um den Betrag der Brechkraft des Systems vermehrt, bezw. vermindert, jenachdem das brechende System ein convergentes oder divergentes ist, also eine positive oder negative Brechkraft besitzt.

Aus den früheren Gleichungen ergiebt sich $D = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r}$, wenn r den in Metern gemessenen Radius der Fläche bezeichnet, positiv genommen, wenn die Fläche ihre Konvexität dem einfallenden Lichte zuwendet.

§ 7. **Die Größe der durch eine brechende Fläche entworfenen Bilder kann man auf folgendem Wege finden:**

Fig. 5.



$pp_, = \alpha$, $qq_, = \beta$, $ps = f_,$, $qs = f_{,,}$, $cp = g_,$, $cq = g_{,,}$, $cs = r$.

Wenn das Bild des in der Achse gelegenen Objektpunktes p in q entworfen wird, so wird von einem dicht bei p in einer zur Achse senkrechten Ebene gelegenen Punkte $p_,$ ein Bild $q_,$ entworfen werden, welches auf der Geraden liegt, die von $p_,$ durch c gezogen wird, (denn der dieser Geraden entsprechende Strahl fällt senkrecht auf das Flächenelement der brechenden Fläche und geht daher ungebrochen weiter).

Es liege $p_,$ auf einem um c als Mittelpunkt beschriebenen Kreise: dann wird das Bild $q_,$ gleichfalls auf einem um c beschriebenen Kreisbogen entworfen werden. Für solche Strahlen, die, wie wir angenommen haben, mit der Achse nur sehr kleine Winkel bilden, können statt der Kreisbogen zur Achse senkrechte Gerade (bezw. statt entsprechender Kugelflächen zur Achse senkrechte Ebenen) gesetzt werden, woraus sich ergiebt, dass Objekte, welche in einer zur Achse senkrechten Ebene gelegen sind, (unter obiger Voraussetzung) wieder in einer zur Achse senkrechten Ebene abgebildet werden.

Für alle folgenden Erörterungen werde festgesetzt, dass die Werte für die Objekt- und Bildgrößen $pp_,$ und $qq_,$ positive, bezw. negative Vorzeichen erhalten, je nachdem diese nach oben bezw. nach unten von der Achse gelegen sind.

Die Größe des Bildes $qq_,$ ergiebt sich aus den Dreiecken $cpp_,$ und $cqq_,$

$$\frac{-\beta}{\alpha} = \frac{g_{,,}}{g_,}.$$

Führen wir in dieser Gleichung wieder statt der Knotenpunktsabstände die Brennpunktsabstände $l_{\prime}$ und $l_{\prime\prime}$ ein, so erhalten wir, da

$$g_{\prime} = pc = pb_{\prime} + b_{\prime}c = l_{\prime} + F_{\prime\prime}$$
$$\text{und} \quad g_{\prime\prime} = qc = qb_{\prime\prime} + b_{\prime\prime}c = l_{\prime\prime} + F_{\prime}$$

aus der Newton'schen Formel (8) durch einfache Rechnung

$$\frac{g_{\prime}}{g_{\prime\prime}} = \frac{l_{\prime}}{F_{\prime}} = \frac{F_{\prime\prime}}{l_{\prime\prime}} = \frac{f_{\prime} - F_{\prime}}{F_{\prime}} = \frac{F_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime} - F_{\prime\prime}}.$$

Drücken wir endlich $g_{\prime}$ und $g_{\prime\prime}$ durch die Hauptpunktsabstände aus, so erhalten wir:

$$\frac{g_{\prime}}{g_{\prime\prime}} = \frac{-f_{\prime} + r}{f_{\prime\prime} - r}.$$

Aus der Gleichung 3 ergab sich aber

$$\frac{-f_{\prime} + r}{f_{\prime\prime} - r} = \frac{n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} \cdot \frac{-f_{\prime}}{f_{\prime\prime}}; \quad \text{daher ist} \quad \frac{g_{\prime}}{g_{\prime\prime}} = -\frac{n_{\prime\prime} f_{\prime}}{n_{\prime} f_{\prime\prime}}.$$

Wir haben somit, (wenn wir noch berücksichtigen, dass $-\frac{n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} = \frac{F_{\prime\prime}}{F_{\prime}}$ ist) für die Beziehungen zwischen Bildgröße und Objektgröße folgende Formeln:

$$\frac{\beta}{\alpha} = -\frac{g_{\prime\prime}}{g_{\prime}} = \frac{F_{\prime}}{F_{\prime} - f_{\prime}} = \frac{F_{\prime\prime} - f_{\prime\prime}}{F_{\prime\prime}} = -\frac{F_{\prime}}{l_{\prime}} = -\frac{l_{\prime\prime}}{F_{\prime\prime}} = -\frac{f_{\prime\prime} F_{\prime}}{f_{\prime} F_{\prime\prime}} = \frac{n_{\prime} f_{\prime\prime}}{n_{\prime\prime} f_{\prime}} \qquad 12)$$

Auch für die Bestimmung der Bildgrößen lässt sich, wie Gullstrand gezeigt hat, die Dioptrienrechnung in einfacher Weise anwenden. Setzen wir wieder, wie oben, $\frac{n_{\prime}}{f_{\prime}} = A$ und $\frac{n_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime}} = B$, so lässt sich die Gleichung $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{n_{\prime} f_{\prime\prime}}{n_{\prime\prime} f_{\prime}}$ für das Verhältnis zwischen Objekt- und Bildgröße in der einfachen Form schreiben

$$A\alpha = B\beta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 13)$$

Gleiche Vorzeichen für α und β sagen wieder an, dass das Bild aufrecht, entgegengesetzte, dass es umgekehrt ist. Dabei ist vorausgesetzt, dass Objekt und Bild von derselben Seite her angesehen werden, wie der früher angegebenen Wahl der Vorzeichen entspricht. Das Verhältnis $\frac{\beta}{\alpha}$ wird als Linearvergrößerung oder auch Lateralvergrößerung bezeichnet.

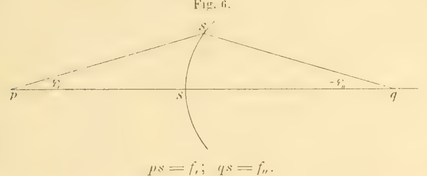
Eine andere Formel für die Beziehungen zwischen Objekt- und Bildgroße, welche von der Brennweite und den Abstanden von der brechenden Flache unabhängig ist, hat Lagrange entwickelt.

$\varphi_{\prime}$ und $\varphi_{\prime\prime}$ bezeichnen wieder die Winkel, welche der einfallende, bezw. der gebrochene Strahl mit der Achse einschließt. Sie haben positives bezw. negatives Vorzeichen, je nachdem man den Strahl um den Winkelscheitel im Sinne

des Uhrzeigers oder in entgegengesetzter Richtung drehen muss, damit er den **Winkelraum durchlaufend zur Achse gelange.**

Aus dem Dreieck $ps_,q$ ergiebt sich $\frac{\varphi_,}{\varphi_{,,}} = \frac{f_{,,}}{f_,}$; Gleichung (12) ergab $\frac{\alpha}{\beta} =$

Fig. 6.



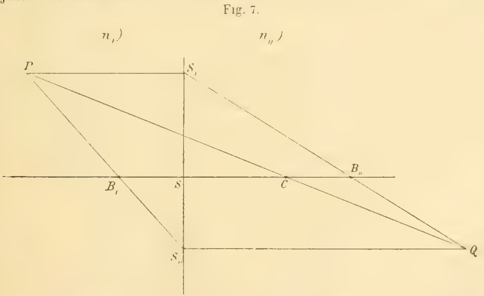
$$ps = f_,;\quad qs = f_{,,}.$$

$\frac{n_{,,}f_,}{n_,f_{,,}}$; durch Kombination beider Formeln erhalten wir LAGRANGE's Formel für die sogenannte Tangentialvergrößerung oder Winkelvergrößerung konjugierter Punkte:

$$\alpha\varphi_, n_, = \beta\varphi_{,,} n_{,,} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

§ 8. Auf Grund der im vorstehenden gefundenen Formeln kann man leicht durch Konstruktion zu einer gegebenen Einfallsgeraden die zugehörige Austrittsgerade, oder zu einem punktförmigen oder ausgedehnten Objekte das Bild finden.

Fig. 7.



$$PS_, = f_,;\quad QS_{,,} = f_{,,};\quad B_,S = F_,;\quad B_{,,}S = F_{,,};\quad SS_, = \alpha;\quad SS_{,,} = \beta.$$

1. Um das Bild des Punktes P zu finden, ziehe man (Fig. 7) $PS_,$ parallel zur Achse bis zur Scheitelpunktsebene $S_,S_{,,}$; nach der Brechung muss dieser Strahl (wenn die brechende Fläche konvex und $n_{,,} > n_,$ ist), nach der Definition durch $B_{,,}$ gehen, das Bild von P also auf der durch $S_,B_{,,}$ gehenden Geraden gelegen sein.

Zieht man ferner die Gerade $PB_,$ durch den ersten Brennpunkt bis zur Hauptebene, so wird der zugehörige gebrochene Strahl zur Achse parallel sein; im Schnittpunkte Q dieses Strahles mit dem verlängerten Strahle $S_,B_{,,}$ liegt das Bild von P.

Statt des Strahles $PB_,$ kann man zur Bildkonstruktion auch den von P durch den Mittelpunkt C der brechenden Fläche gehenden Strahl benutzen, welcher, als die Normale zum betreffenden Flächenelemente, ungebrochen durch die Fläche hindurch geht.

Unter Benutzung der gleichen Bezeichnungen wie früher ergiebt sich aus der Figur

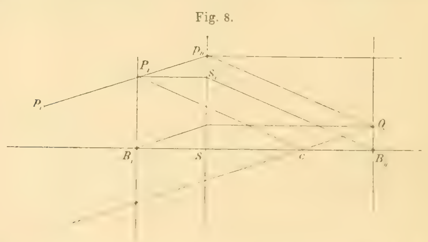
$$\frac{F_,}{f_,} = \frac{-\beta}{\alpha-\beta}; \quad \frac{F_{,,}}{f_{,,}} = \frac{\alpha}{\alpha-\beta}; \quad \text{daher} \quad \frac{F_,}{f_,} + \frac{F_{,,}}{f_{,,}} = 1 .$$

Fig. 7a.

In diesem ersten Falle ist das Bild reell, da die gebrochenen Strahlen sich wirklich in Q vereinigen.

Ist die brechende Fläche konkav und $n_{,,} > n_,$, so wird (Fig. 7a) der zur Achse parallele Strahl so gebrochen, als käme er vom zweiten Brennpunkte $B_{,,}$. Ein von P in der Richtung auf $B_,$ gezogener Strahl ist nach der Brechung der Achse parallel; das Bild Q liegt da, wo sich die **nach rückwärts verlängerten** Strahlen treffen; das Bild ist virtuell; ein von P durch Q gezogener Strahl muss den Krümmungsmittelpunkt der Kugel treffen.

Fig. 8.



2. Um zu der Einfallsgeraden $p_,p_{,,}$ die zugehörige Austrittsgerade zu finden, können u. A. folgende Konstruktionen benutzt werden (Fig. 8):

a) Eine durch den vorderen Brennpunkt $B_,$ zu $p_,p_{,,}$ parallel gezogene Gerade ist nach der Brechung zur Achse parallel. Parallel einfallende Strahlen vereinigen sich aber in der zweiten Brennebene. Der Punkt Q, in welchem der aus $B_,$ zu $p_,p_{,,}$ parallel gezogene Strahl die zweite Brennebene trifft, muss also dem gebrochenen Strahle angehören, dessen Richtung daher durch $p_{,,}Q$ gegeben ist.

a_2 Eine durch c zu $p_, p_{,,}$ parallel gezogene Gerade geht ungebrochen im zweiten Medium weiter und muss sich gleichfalls in der zweiten Brennebene mit dem gebrochenen Strahle treffen.

b_1) Ein aus dem Punkte $P_,$ der ersten Brennebene zur Achse parallel verlaufender Strahl $P_, S_,$ geht nach der Brechung durch $B_{,,}$. Der gebrochene Strahl muss diesem Strahle $S_, B_{,,}$ parallel sein, da beide aus einem Punkte der ersten Brennebene kommen.

b_2) Ebenso muss der gebrochene Strahl dem aus $P_,$ durch c gezogenen, ungebrochen verlaufenden Strahle parallel sein.

3. Eine weitere Konstruktionsmethode ist die folgende (Fig. 9):

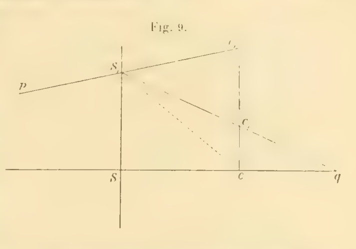


Fig. 9.

Man verlängere den einfallenden Strahl ps' bis zu seinem Schnittpunkte mit der Knotenpunktsebene in $c_{,,}$; teilt man die Strecke $cc_{,,}$ in solchem Verhältnis, dass $\frac{cc_{,,}}{cc_,} = \frac{n_{,,}}{n_,}$ ist, so ist die aus $s_,$ durch $c_,$ gezogene Gerade der gebrochene Strahl.

Die letztere Konstruktion, für parallel einfallende Strahlen durchgeführt, gestattet in einfacher Weise die Auffindung der Brennpunkte auf geometrischem Wege. Es ist dann $s_, c_{,,}$ gleich und parallel $sc = r$ und aus den rechtwinkligen Dreiecken $s_, c_{,,} c_,$ und $s s_, q$ ergiebt sich, unter Anwendung früherer Bezeichnungen

$$\frac{r}{n_{,,} - n_,} = \frac{f_{,,}}{n_{,,}}; \quad f_{,,} = \frac{n_{,,} r}{n_{,,} - n_,} = F_{,,}.$$

Eine weitere Methode zur Konstruktion des gebrochenen Strahles beruht auf dem Theorem von Neumann, welches lautet:

Die Ordinate y eines Lichtstrahles im Scheitelpunkte der brechenden Fläche ist gleich der Summe der Ordinaten $\zeta_,$ und $\zeta_{,,}$ in den beiden Brennpunkten $y = \zeta_, + \zeta_{,,}$.

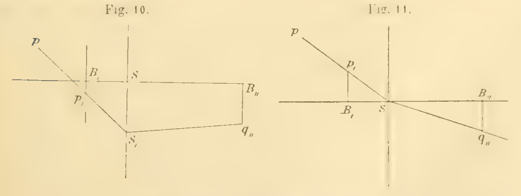


Fig. 10. Fig. 11.

$$SS_, = y; \quad B_, p_, = \zeta_,; \quad B_{,,} q_{,,} = \zeta_{,,}.$$

Für $y = o$ ist $z_{\prime\prime} = - z_{\prime}$, d. h. zu einem im Scheitelpunkte einfallenden Strahle (Fig. 11) wird der gebrochene gefunden, indem man im zweiten Brennpunkte eine Ordinate errichtet, die der ersten gleich, aber auf entgegengesetzter Seite der Achse gelegen ist.

Für den Punkt $B_{\prime}$ ist $l_{\prime} = - F_{\prime}$, also, da (nach Gleichung 12) $\frac{\alpha}{-\beta} = \frac{l_{\prime}}{F_{\prime}} = -1$ ist, $\alpha = \beta$ und infolge dessen auch $n_{\prime} tg p_{\prime} s B_{\prime} = n_{\prime\prime} tg q_{\prime\prime} s B_{\prime\prime}$; oder $\frac{tg p_{\prime} s B_{\prime}}{tg q_{\prime\prime} s B_{\prime\prime}} = \frac{n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} = - \frac{F_{\prime\prime}}{F_{\prime}}$. Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass die Konstruktion Fig. 11 dieser Formel Lagrange's entspricht.

Die vorstehenden Konstruktionen können auch zur Auffindung des zu einem Punkte der Achse selbst gehörigen Bildpunktes benutzt werden, indem man aus dem Objektpunkte einen beliebigen achsennahen Strahl zieht und nach vorstehenden Regeln behandelt.

Zur Konstruktion des Bildes einer beliebigen Figur sucht man die Bilder der einzelnen Punkte, aus welchen das Objekt zusammengesetzt zu denken ist. Zwei zueinander gehörige Punkte konjugierter Bilder liegen immer auf einer Geraden, die durch den Krümmungsmittelpunkt geht: die zu einander konjugierten Bilder sind daher in Bezug auf diesen Punkt »perspektivisch«.

§ 9. Das in Formel 3 und 8 ausgedrückte Verhältnis zwischen Bild- und Objektabständen vom Scheitel bezw. den Brennpunkten der brechenden Fläche lässt sich (Hirschberg, Nagel) durch Konstruktion in der folgenden Weise veranschaulichen.

Die Formel $l_{\prime} l_{\prime\prime} = F_{\prime} F_{\prime\prime} = F_{\prime}^{2} \left(\frac{-n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} \right)$ entspricht der Gleichung für eine gleichseitige Hyperbel, welche auf ihre Asymptoten als Coordinatenachsen bezogen ist und deren Mittelpunkt im Nullpunkte des Coordinatensystems liegt. Die Beziehungen zwischen Objekt- und Bildabstand von den Brennpunkten können also durch eine solche gleichseitige Hyperbel dargestellt werden.

Tragen wir (Fig. 12) auf der Abscissenachse vom Anfangspunkte nach rechts bezw. links die (positiven, bezw. negativen) Werte für $l_{\prime}$ ab, so geben uns die entsprechenden Ordinaten die zugehörigen Werte für $l_{\prime\prime}$. Als Einheit für die Abstandsmessungen des Objektpunktes werde die erste Brennweite $F_{\prime}$ gewählt. Um den Bildabstand direkt in Werten der zweiten Brennweite ausdrücken zu können, werde für die Ordinateneinteilung als Einheit die zweite Brennweite zu Grunde gelegt $\left(F_{\prime\prime} = - \frac{n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} F_{\prime} \right)$.

Für eine von Luft umgebene Linse würden, da hier die beiden Brennweiten einander gleich sind, Ordinaten und Abscissen nach gleicher Einheit zu messen sein. Positive Coordinaten bedeuten reelle, negative virtuelle Bildpunkte.

Die graphische Darstellung der Bildgröße als Funktion des Brennpunktsabstandes des Objektes führt, wie sich aus der Formel $\frac{\alpha}{\beta} = - \frac{l_{\prime}}{F_{\prime}} = - \frac{F_{\prime\prime}}{l_{\prime\prime}}$

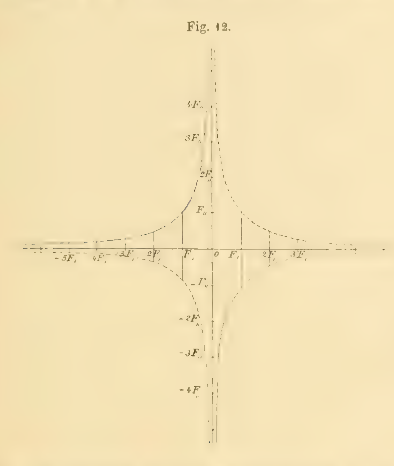
ergiebt, zu einer gleichseitigen, zu der ersten symmetrisch gelegenen Hyperbel (punktierte Kurven der Figur 12).

Für die Beziehungen zwischen den Hauptpunktsabständen von Objekt und Bild ergiebt sich eine ähnliche graphische Darstellung unter Benutzung der Formel

$$(f_{,} - F_{,})\,(f_{,,} - F_{,,}) = F_{,} F_{,,}.$$

Es genügt, dass wir den Nullpunkt des im übrigen unveränderten Coordinatensystems um $F_{,}$ nach rechts und um $F_{,,}$ nach unten verschieben

Fig. 12.



(Fig. 13). Der Nullpunkt fällt dann mit dem Scheitel der Hyperbel zusammen. Für die Bildgröße als Funktion des Hauptpunktsabstandes des Objekts ergiebt sich aus der Gleichung $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{F_{,}}{F_{,} - f_{,}}$ die punktierte Kurve der Figur 13.

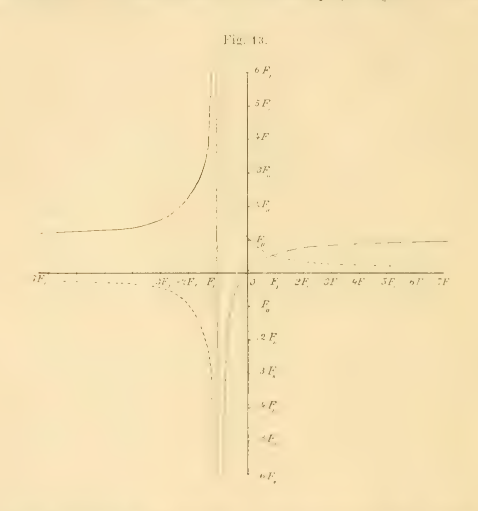
§ 10. Die Gesetze der Spiegelung an sphärischen Flächen können in ähnlicher Weise, wie es im vorstehenden für die Brechung geschehen ist, aus dem Grundgesetze für die Spiegelung ($\gamma = -\alpha$) hergeleitet werden. Wir erhalten die gleichen Formeln, wenn wir in den für die Brechung gefundenen Formeln $n_{,,} = -n_{,}$ setzen.

Aus Gleichung 5 ergiebt sich dann die Fundamentalformel für die Spiegelung

$$\frac{1}{f_{,}} + \frac{1}{f_{,,}} = \frac{2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 15)$$

Bei gleicher Voraussetzung wie früher bezüglich der Vorzeichen ist für Konvexspiegel der Radius positiv, für Konkavspiegel negativ zu nehmen.

Fig. 13.



Die Hauptbrennweiten der spiegelnden Kugelfläche erhält man, indem man $f_{,,}$ bezw. $f_{,} = \infty$ setzt. In beiden Fällen ergiebt sich der gleiche Wert für die Brennweite:

$$F_{,} = F_{,,} = \frac{r}{2}$$

Hieraus folgt, dass die einfallenden und die gespiegelten Strahlen auf der gleichen Seite der spiegelnden Fläche verlaufen. Wird der Objektpunkt dem Spiegel genähert oder von ihm entfernt, so bewegt sich der zugehörige Bildpunkt in entgegengesetzter Richtung; beide Punkte nähern

sich einander oder entfernen sich von einander: die Abbildung ist eine »rückläufige«.

Die Brennpunktsgleichung (Newton'sche Formel) lautet für die spiegelnde Kugelfläche

$$l_, l_{,,} = F^2 = \frac{r^2}{4} \quad \text{. . . . . (16)}$$

Die Formeln für die Beziehungen zwischen Objekt- und Bildgroßen bei Spiegelung an sphärischen Flächen lauten nach (12)

$$\frac{\alpha}{-\beta} = \frac{l_,}{F} = \frac{F}{l_{,,}} = \frac{2l_,}{r} = \frac{r}{2l_{,,}} = \frac{f_,}{f_{,,}} \quad \text{. . . . . . (17)}$$

In gleicher Weise sind auch die Gullstrand'schen Formeln für Dioptrierechnung anwendbar, wenn man die Brechungsindices aller Medien, welche das Licht nach erfolgter Spiegelung durchläuft, negativ nimmt.

In der Gleichung $B = A + D$ ist dann

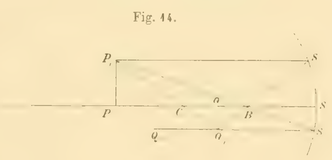
$$B = -\frac{n_,}{f_{,,}}, \quad A = \frac{n_,}{f_,}, \quad D = \frac{n_{,,} - n_,}{r} = -\frac{2n_,}{r}.$$

D hat also positives Vorzeichen bei Spiegelung an konkaven Flächen, negatives bei Spiegelung an konvexen Flächen: Konkavspiegel sammeln, Konvexspiegel zerstreuen das Licht.

Konstruktion der durch Reflexion an sphärischen Flächen entworfenen Bilder.

a) Konkavspiegel (Fig. 14). Der zur Achse parallele Strahl $P_, S_,$ wird durch den Brennpunkt B reflektiert, der durch B gehende Strahl wird als $S_{,,} Q_,$ zur Achse parallel reflektiert, im Schnittpunkte $Q_,$ beider Strahlen liegt das Bild von $P_,$. Der von $P_,$ durch den Krümmungsmittelpunkt C gehende Strahl wird in sich selbst reflektiert. Das Objekt $PP_, = \alpha$ entwirft das Bild $QQ_, = \beta$, das verkehrt ist, also negatives Vorzeichen erhält; aus den Dreiecken $BSS_,$ und $BPP_,$ ergiebt sich

Fig. 14.



$$\frac{PP_,}{SS_{,,}} = \frac{PS - BS}{BS}$$

oder mit Benutzung der früheren Bezeichnungen (da $SS_{,,} = QQ_,$)

$$\frac{\alpha}{-\beta} = \frac{f_, - F}{F} = \frac{l_,}{F}.$$

b) Konvexspiegel (Fig. 15). Es ergiebt sich in entsprechender Weise

$$\frac{SS_,}{QQ_,} = \frac{SB}{SB - SQ};\quad \frac{\alpha}{\beta} = \frac{F}{F - f_{,,}} = -\frac{F}{l_{,,}}.$$

Setzen wir in der Gleichung $l_, l_{,,} = \frac{r^2}{4}$ für $l_, = -\frac{r}{2}$, so wird auch $l_{,,} = -\frac{r}{2}$ und es ist $\beta = -\alpha$, d. h. für ein im Krümmungsmittelpunkte eines Hohlspiegels befindliches Objekt liegt das Bild gleichfalls im Krümmungsmittelpunkte; es ist gleich groß, aber umgekehrt gerichtet.

Für $l_, = +\frac{r}{2}$ ist $l_{,,} = +\frac{r}{2}$ und $\beta = \alpha$, d. h. im Kugelscheitel des Hohlspiegels fallen Objekt und Bild zusammen und sind gleich groß und gleich gerichtet. Eine analoge Betrachtung für den Konvexspiegel ergiebt, dass auch für ihn im Kugelscheitel Bild und Objekt gleich groß und gleich gerichtet sind.

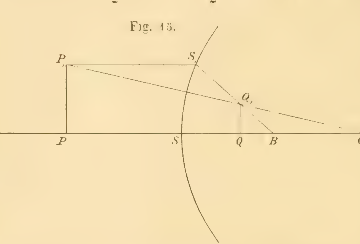


Fig. 15.

Der Konvexspiegel erzeugt nur virtuelle Bilder. Der Konkavspiegel erzeugt virtuelle Bilder, wenn das Objekt zwischen Kugelscheitel und Brennpunkt liegt, in allen anderen Fällen reelle Bilder.

Für den Fall der Brechung und der Spiegelung an ebenen Flächen ergeben sich die Gleichungen aus obigen Formeln, wenn wir $r = \infty$ setzen.

Wir erhalten dann aus den allgemeinen Gleichungen:

$$\frac{f_,}{f_,} = \frac{n_,}{n_{,,}},\quad \frac{\beta}{-\alpha} = -1,\ \text{also}\ \beta = \alpha\ \text{und}\ F_, = F_{,,} = \infty.$$

In Worten: Bei der Brechung an ebenen Begrenzungsflachen sind Objekt und Bild gleich groß und gleich gerichtet und liegen auf derselben Seite der brechenden Fläche; ihre Abstande von der brechenden Flache verhalten sich wie die Indices der brechenden Medien. Die Brennweiten sind unendlich groß, d. h. parallel zu einander einfallende Strahlen sind auch nach der Brechung parallel. Solche Systeme heißen teleskopisch.

Da bei ebenen Flachen nach der Gleichung von LAGRANGE $\frac{\varphi_,}{\varphi_{,,}} = \frac{n_{,,}}{n_,}$ wird, so ergiebt sich, dass das Verhaltnis des Winkels zweier einfallender Strahlen zu dem Winkel der ihnen entsprechenden austretenden Strahlen konstant und gleich dem Verhaltnis des Index des zweiten zu dem des ersten Mediums ist.

Wir erhalten ferner für die Spiegelung an ebenen Flächen aus den Gleichungen (15 und 17)

$$f_{,,} = -f_,;\quad \beta = \alpha;\quad F = \infty.$$

In Worten: Bei der Spiegelung an ebenen Flächen entsteht ein aufrechtes Bild, welches gleich groß mit dem Objekte ist und ebensoweit hinter der Spiegelebene liegt, wie das Objekt vor dieser. Das System ist teleskopisch.

§ 11. **Gang der Strahlen durch ein System von mehreren brechenden Flächen.** Auch bei Erörterung dieses Problems beschränken wir uns zunächst wieder auf Centralstrahlen, setzen aber außerdem voraus, dass die verschiedenen zu untersuchenden Flächen centriert seien, d. h. dass ihre Krümmungsmittelpunkte sich sämtlich auf einer und derselben Geraden — der optischen Achse des Systems — befinden, und dass alle in Betracht kommenden Flächen als Abschnitte von Kugelflächen betrachtet werden können. Wir werden später sehen, dass keine dieser Bedingungen beim menschlichen Auge wirklich genau erfüllt ist, wodurch zum Teile sehr wichtige Abweichungen von der nach obigen Voraussetzungen sich ergebenden Abbildungsweise bedingt sind.

Verfolgt man zunächst einen Strahl aus einem Medium in das zweite, aus diesem in das dritte, — wobei das von der ersten Fläche entworfene Bild das Objekt für die Brechung durch die zweite Fläche abgiebt, — so zeigt eine ähnliche Erörterung, wie sie im vorhergehenden Abschnitte für eine einzige brechende Fläche angestellt wurde, folgendes: Der durch ein System von mehreren brechenden, centrierten Flächen gebrochene Strahl liegt in der durch den einfallenden Strahl und die Achse des Systems gegebenen Ebene. Homocentrische Strahlen sind auch nach der Brechung durch mehrere Flächen homocentrisch. Objektpunkten, die in einer zur Achse senkrechten Ebene liegen, gehören Bildpunkte zu, die gleichfalls in einer zur Achse senkrechten Ebene liegen. Bilder, welche in solchen zueinander »konjugierten« Ebenen liegen, sind perspektivisch in Bezug auf einen Punkt der Achse.

Um den Gang der durch ein System von mehreren Flächen gebrochenen Strahlen, bezw. Lage und Größe der durch jene entworfenen Bilder zu bestimmen, könnte man in der Weise vorgehen, dass man zunächst das von der ersten Fläche entworfene Bild aufsucht, dieses als Objekt für das von der zweiten Fläche zu entwerfende Bild betrachtet u. s. w. Unter fortgesetzter Anwendung der für eine brechende Fläche gefundenen Formeln könnte man so, von Fläche zu Fläche fortschreitend, die durch jede derselben bedingte Ablenkung der Strahlen durch Rechnung oder durch Konstruktion finden. Dieser Weg würde aber sehr umständlich und verwickelt werden, sobald mehr als 2 brechende Flächen in Betracht kommen.

Eine wesentliche Vereinfachung der Untersuchung wird ermöglicht durch die Einführung der Hauptpunkte und Knotenpunkte bezw. Hauptpunkts- und Knotenpunkts-Ebenen in die Rechnung. Jedes zusammengesetzte optische System hat 6 in seiner Achse gelegene Fundamentalpunkte, deren Kenntnis die Ermittelung des einem einfallenden Strahle zugehörigen gebrochenen Strahles durch Rechnung oder Konstruktion in einfacher Weise ermöglicht.

Diese drei fundamentalen Punktpaare auf der Achse eines centrierten zusammengesetzten optischen Systems sind die **Brennpunkte**, die **Hauptpunkte** und die **Knotenpunkte**.

Die Hauptpunkte eines Systems unendlich dünner Linsen in Luft wurden zuerst von MÖBIUS (1829) gefunden. Ihre allgemeinere Bedeutung hat GAUSS in seinen dioptrischen Untersuchungen (1840) dargelegt. Fast gleichzeitig erschien das Werk BESSEL's über die Grundformeln der Dioptrik. Die Knotenpunkte wurden von MOSER (1844) gefunden, ihre allgemeine Bedeutung vor allem durch LISTING (1845) entwickelt.

1. In jedem centrierten optischen System giebt es zwei (und nur 2) zur Achse senkrechte Ebenen von solcher Eigenschaft, dass parallel in das System eintretende, bezw. aus ihm austretende Strahlen sich in einem Punkte der zweiten Ebene vereinigen, bezw. von einem Punkte der ersten Ebene kommen. Diese heißen die zweite, bezw. die erste Brennebene. Als zweiter, bezw. erster **Brennpunkt** werden die Schnittpunkte der optischen Achse mit den betreffenden Ebenen bezeichnet. Die Brennpunkte sind also die zu einem unendlich entfernten Objektpunkte konjugierten Bildpunkte. Die zur Achse parallel auf die erste Fläche auffallenden Strahlen vereinigen sich nach der Brechung im zweiten Brennpunkte des Systems. Strahlen, die vom ersten Brennpunkte des Systems ausgehend auf die erste Fläche auffallen, sind nach der letzten Brechung der Achse parallel.

2. In jedem centrierten Systeme giebt es zwei (und nur 2) zur Achse senkrechte Ebenen von solcher Eigenschaft, dass in ihnen Objekt und Bild gleich groß und gleich gerichtet sind. Daraus folgt, dass jede beliebige, zur Achse parallele Gerade diese Ebenen in zwei zu einander konjugierten Punkten schneidet. Sie heißen **Hauptebenen**. Die Punkte, in welchen diese von der Achse des Systems geschnitten werden, heißen **Hauptpunkte**. Strahlen, die aus dem ersten Brennpunkte auf das System fallen, schneiden sich daher mit den zugehörigen, aus dem System zur Achse parallel austretenden und nach rückwärts verlängerten Strahlen in der ersten Hauptebene; die Verlängerungen der Strahlen, welche parallel zur Achse auf das System auffallen, schneiden sich in der zweiten Hauptebene mit den zugehörigen Strahlen, welche nach der letzten Brechung nach dem zweiten Brennpunkte des Systems gerichtet sind.

Nach dieser Definition ist die Bedingung für die Hauptebenen $\alpha = \beta$ (Objekt und Bild gleich groß und gleich gerichtet.) Aus Formel (12) für eine brechende Fläche ergiebt sich danach $\frac{F_{,}}{F_{,} - f_{,}} = 1 - \frac{F_{,,} - f_{,,}}{F_{,,}}$, daher $f_{,} = f_{,,} = 0$, in Worten: Bei einer einzigen brechenden Fläche fallen beide Hauptebenen in eine einzige zusammen; diese entspricht der Scheitelebene der brechenden Fläche. Wir haben schon früher gesehen, dass in der Scheitelebene einer brechenden Fläche Objekt und Bild zusammenfallen.

Aus vorstehendem erhellt, warum dort für die Scheitelebene die Bezeichnung Hauptebene eingeführt wurde.)

3. In jedem zusammengesetzten, centrierten System giebt es zwei und nur 2[1] zur Achse senkrechte Ebenen von solcher Eigenschaft, dass zwei Gerade, die aus einem Punkte der einen Ebene divergieren, denselben Winkel einschließen, wie die ihnen zugehörigen Geraden, welche nach dem zu dem ersten konjugierten Punkte der anderen Ebene konvergieren; sie heißen Knotenpunktsebenen. Die **Knotenpunkte** sind die Punkte der Achse, in welchen letztere die Knotenpunktsebenen schneidet. Sie sind nach vorstehendem dadurch charakterisiert, dass ein Lichtstrahl, der in der Richtung auf den ersten Knotenpunkt auf das System auffällt, nach der letzten Brechung zu dem einfallenden Strahle parallel aus dem zweiten Knotenpunkte zu kommen scheint.

Bezeichnen $\omega_{,}$ und $\omega_{,,}$ die Winkel, die der eintretende, bezw. austretende Strahl mit der Achse einschließt, so ist die Knotenpunktsbedingung $\omega_{,,} = \omega_{,}$; zur Ermittelung der Knotenpunktslage bei einer einzigen brechenden Fläche setzen wir diesen Wert in die Gleichung (14) von Lagrange ein; wir erhalten dann $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{n_{,,}}{n_{,}}$; aus Gleichung (6) und (12) ergiebt sich dann $f_{,} = f_{,,} = F_{,} + F_{,,} = r$ (vgl. § 3).

In Worten: Für eine einzige brechende Fläche fallen die beiden Knotenpunkte in einen zusammen, dessen Scheitelpunktsabstand gleich dem Radius der Fläche ist; der Knotenpunkt der brechenden Fläche fällt also mit ihrem Krümmungsmittelpunkte zusammen.

Die Lage der Knotenpunkte zu den Brennpunkten ergiebt sich aus den gleichen Formeln: da $\frac{\alpha}{-\beta} = \frac{l_{,}}{F_{,}} = \frac{F_{,,}}{l_{,,}}$ ist, so ergeben sich für $\omega_{,,} = \omega_{,}$ (unter Berücksichtigung, dass $\frac{n_{,}}{n_{,,}} = -\frac{F_{,}}{F_{,,}}$ ist), aus $n_{,}\alpha = n_{,,}\beta$ für $l_{,}$ bezw. $l_{,,}$ die Werte $l_{,} = F_{,,}$; $l_{,,} = F_{,}$, (was früher auf andere Weise gefunden wurde). Man erhält also den ersten Knotenpunkt, indem man auf der Achse vom ersten Brennpunkte eine nach Größe und Vorzeichen der zweiten Brennweite gleiche Strecke abträgt; man erhält den zweiten Knotenpunkt, indem man vom zweiten Brennpunkte aus in gleicher Weise die erste Brennweite abträgt.

Hieraus folgt weiter, da die Brennpunkte immer auf entgegengesetzten Seiten der brechenden Flächen liegen, dass der erste Knotenpunkt symmetrisch zum zweiten Hauptpunkte gelegen ist in Bezug auf die Brennpunkte, und dass ebenso der zweite Knotenpunkt in Bezug auf die Brennpunkte symmetrisch zum ersten Hauptpunkte liegt. Der Abstand der beiden Knotenpunkte von einander ist gleich dem Abstande der beiden Hauptpunkte voneinander.

Fig. 16 veranschaulicht diese Beziehungen. Die Brennpunkte bezw. Haupt- und Knotenpunkte sind mit $B_{,}$, $B_{,,}$, bezw. $H_{,}$, $H_{,,}$, $K_{,}$, $K_{,,}$ bezeichnet.

Fig. 16.

Es ist: $H_{,}B_{,} = B_{,,}K_{,,} = F_{,}$; $B_{,}K_{,} = H_{,,}B_{,,} = F_{,,}$; $H_{,}H_{,,} = K_{,}K_{,,}$ $K_{,}H_{,} = K_{,,}H_{,,}$.

Die Strecken $B_{,}B_{,,}$, $H_{,}K_{,,}$ und $H_{,,}K_{,}$ haben einen gemeinsamen Mittelpunkt. Hat das letzte brechende Mittel des zusammengesetzten Systems denselben Brechungsindex, wie das erste, so ist auch die erste Brennweite des ganzen Systems gleich der zweiten, also $B_{,}H_{,} = H_{,,}B_{,,}$; da auch $K_{,,}B_{,,} = H_{,}B_{,}$ und $B_{,}K_{,} = H_{,,}B_{,,}$, so fallen also dann die beiden Hauptpunkte mit den beiden Knotenpunkten zusammen. Dies ist z. B. der Fall für Linsen in Luft, auch für die menschliche Linse im Auge, da der Brechungsindex des Glaskörpers (nahezu) genau gleich jenem des Kammerwassers ist.

Wenn wir, wie früher, die Abstände von den Hauptpunkten nach links hin (das Licht von links kommend gedacht) negativ, nach rechts hin positiv rechnen, so ist $H_{,}B_{,} = -F_{,}$; $K_{,}B_{,} = H_{,,}B_{,,} = F_{,,}$. Bezeichnen wir den Abstand $K_{,}H_{,} = K_{,,}H_{,,}$ eines Knotenpunktes vom zugehörigen Hauptpunkte mit r, so ergiebt sich, da $K_{,}H_{,} = B_{,}K_{,} - B_{,}H_{,}$ ist, $F_{,,} + F_{,} = r$.

Kennt man die Lage der Hauptpunkte und der Brennpunkte eines Systems, so kann man nach vorstehendem die der Knotenpunkte und umgekehrt aus der Lage der Brenn- und der Knotenpunkte die der Hauptpunkte oder aus der Lage der Haupt- und der Knotenpunkte die der Brennpunkte finden.

§ 12. Nach dem Gesagten lässt sich zu einem gegebenen Punkte oder Objekte das Bild, oder zu einem einfallenden Strahle der gebrochene durch Konstruktion auf verschiedenen Wegen finden, von welchen die wichtigsten in Fig. 17 zusammengestellt sind.

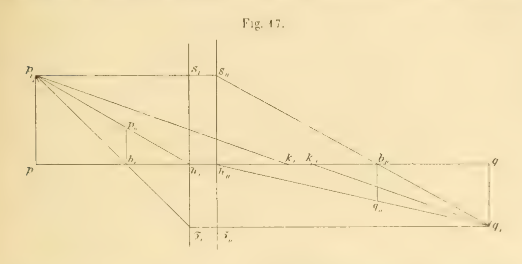
Um das Bild des Punktes $p_{,}$ zu finden, zieht man den Strahl $p_{,}s_{,,}$ zur Achse parallel bis zum Schnittpunkte $s_{,,}$ mit der zweiten Hauptebene. Dieser Strahl geht nach der Brechung durch den zweiten Brennpunkt $b_{,,}$. Die Lage des Bildes von $p_{,}$ auf dem Strahle $s_{,,}b_{,,}$ oder seiner Verlängerung ist bestimmt durch den Schnittpunkt dieses Strahles mit einem beliebigen anderen aus $p_{,}$ ausgehenden Strahle. Als zweiten Strahl kann man wählen:

1. Den von $p_{,}$ durch $b_{,}$ gehenden Strahl; verlängert man diesen bis zu seinem Schnittpunkte $\sigma_{,}$ mit der ersten Hauptebene, so ist der gebrochene Strahl (nach der Definition) zur Achse parallel.

Oder 2., den von $p_{\prime}$ nach $k_{\prime}$ verlaufenden Strahl; nach der Definition ist der aus dem System austretende Strahl nach $k_{\prime\prime}$ gerichtet und zu $p_{\prime}k_{\prime}$ parallel.

Oder 3., den von $p_{\prime}$ nach $h_{\prime}$ ziehenden Strahl. Der aus $h_{\prime\prime}$ austretende Strahl ist seiner Richtung nach dadurch bestimmt, dass eine im zweiten Brennpunkte $b_{\prime\prime}$ errichtete Ordinate $b_{\prime\prime}q_{\prime\prime}$ an Größe einer in $b_{\prime}$ errichteten Ordinate $b_{\prime}p_{\prime\prime}$ gleich ist, aber auf entgegengesetzter Seite der Achse liegt. Die gebrochenen

Fig. 17.



Strahlen müssen sich in dem gleichen Punkte der Geraden $s_{\prime\prime}q_{\prime}$ schneiden. Wenn in einer zur Achse senkrechten Ebene ein Objekt von der Größe $pp_{\prime}$ sich befindet, so liegt das zugehörige Bild gleichfalls in einer zur Achse senkrechten Ebene und hat die Größe $qq_{\prime}$.

§ 13. Führen wir für die in Fig. 17 vorkommenden Strecken die gleichen Bezeichnungen ein, wie für die entsprechenden Strecken bei einer einzigen brechenden Fläche, und geben wir wieder, unter der Voraussetzung, dass das Licht von links komme, den nach links vom ersten Hauptpunkte gelegenen Strecken negatives, den nach rechts vom zweiten Hauptpunkte gelegenen Strecken positives Vorzeichen, so haben wir $ph_{\prime} = -f_{\prime}$; $b_{\prime}h_{\prime} = -F_{\prime}$; $pp_{\prime} = h_{\prime\prime}s_{\prime\prime} = \alpha$; $qh_{\prime\prime} = f_{\prime\prime}$; $b_{\prime\prime}h_{\prime\prime} = F_{\prime\prime}$; $qq_{\prime} = h_{\prime}\sigma_{\prime} = h_{\prime\prime}\sigma_{\prime\prime} = -\beta$.

Aus den Dreiecken $p_{\prime}s_{\prime}\sigma_{\prime}$ und $b_{\prime}h_{\prime}\sigma_{\prime}$ bezw. $b_{\prime\prime}s_{\prime\prime}h_{\prime\prime}$ und $q_{\prime}s_{\prime\prime}\sigma_{\prime\prime}$ folgt

$$\frac{b_{\prime}h_{\prime}}{ph_{\prime}} = \frac{h_{\prime}\sigma_{\prime}}{h_{\prime}\sigma_{\prime} + h_{\prime}s_{\prime}} \quad \text{d. i.} \quad \frac{F_{\prime}}{f_{\prime}} = \frac{-\beta}{\alpha - \beta}$$

$$\text{und} \quad \frac{b_{\prime\prime}h_{\prime\prime}}{qh_{\prime\prime}} = \frac{h_{\prime\prime}s_{\prime\prime}}{h_{\prime\prime}s_{\prime\prime} + h_{\prime\prime}\sigma_{\prime\prime}} \quad \text{d. i.} \quad \frac{F_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime}} = \frac{\alpha}{\alpha - \beta}.$$

Durch Addition erhält man

$$\frac{F_{\prime}}{f_{\prime}} + \frac{F_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime}} = 1,$$

durch Division ergiebt sich

$$\frac{\alpha}{-\beta} = \frac{F_{\prime\prime}f_{\prime}}{F_{\prime}f_{\prime\prime}} = -\frac{n_{\prime\prime}f_{\prime}}{n_{\prime}f_{\prime\prime}}.$$

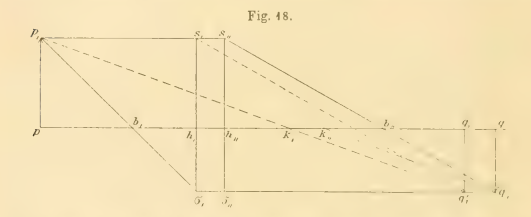
Ferner ist

$$\frac{pp_{,}}{qq_{,}} = \frac{pk_{,}}{qk_{,,}} = \frac{pb_{,}}{b_{,}h_{,}} = \frac{h_{,,}b_{,,}}{b_{,,}q} \quad \text{d. i.} \quad \frac{\alpha}{-\beta} = \frac{g_{,}}{g_{,,}} = \frac{l_{,}}{F_{,}} = \frac{F_{,,}}{l_{,,}}.$$

Sämtliche für eine einzige brechende Fläche aufgestellte Gleichungen gelten auch für ein System beliebig vieler brechender Flächen, wenn man nur die Abstände statt vom Scheitel vom ersten bezw. zweiten Hauptpunkte und statt vom Krümmungsmittelpunkte vom ersten bezw. zweiten Knotenpunkte misst.

Denkt man sich die für ein zusammengesetztes System giltige Fig. 17 längs der Achse derart in sich verschoben, dass $h_{,,}$ nach $h_{,}$ (also auch $k_{,,}$ nach $k_{,}$) fällt, so erhält man die Konstruktion für die Brechung des Lichtes an einer einzigen Fläche. Hier sind die Abstände der Brennpunkte wie der konjugierten Punkte auf der Achse vom Scheitel der brechenden Fläche die gleichen, wie die entsprechenden Abstände im ursprünglichen System von dem ersten bezw. zweiten Hauptpunkte; ferner ist auch der Abstand der Bilder leuchtender Punkte von der Achse der gleiche wie im

Fig. 18.



ursprünglichen System $qq_{,} = q_1 q_1'$ Fig. 18). Daraus ergiebt sich folgende einfache Regel für die Konstruktion der von einem zusammengesetzten optischen System entworfenen Bilder, dessen erstes, bezw. letztes Medium den Brechungsindex $n_{,}$ bezw. $n_{,,}$ hat:

Man führe die Konstruktion nach den früher gegebenen Regeln für eine einzige brechende Fläche aus, deren Scheitel im ersten Hauptpunkte, deren Krümmungsmittelpunkt im ersten Knotenpunkte des Systems liegt und 2 Medien vom Index $n_{,}$ bezw. $n_{,,}$ von einander trennt. Verschiebt man die auf diese Weise erhaltenen Strahlen auf der Achse um eine Strecke, welche der Größe und dem Vorzeichen nach dem Abstande des zweiten Hauptpunktes vom ersten entspricht, so erhält man die Strahlen des zusammengesetzten Systems.

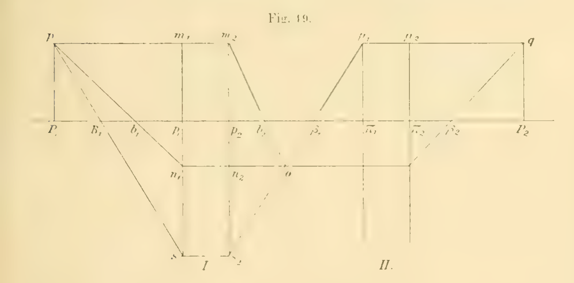
Man kann also jedes centrierte optische System ersetzt denken durch ein einfaches System von 2 durch eine brechende Fläche voneinander

getrennten Medien; verschiebt man die von diesem einfachen System entworfenen Bilder parallel zur Achse um eine Strecke gleich der Distanz der beiden Hauptpunkte, so fallen die Bilder mit den von dem zusammengesetzten System entworfenen zusammen. Eine solche Fläche wird als eine **äquivalente** bezeichnet.

Ist $n_{,,} = n_{,}$, so kann man das gegebene System ersetzen durch ein solches aus 3 Medien, von welchen das erste dem letzten gleich ist. Für das zwischen beiden befindliche unendlich dünne Medium fallen die Hauptebenen in der Ebene zusammen, in welcher die Scheitel der Flächen dieses Mediums sich berühren. Ein solches System heißt eine unendlich dünne Linse (s. § 64).

§ 14. Es seien die Kardinalpunkte von 2 brechenden Systemen I und II gegeben (vgl. Fig. 19, zum Teil nach Ferraris); wir bezeichnen die Brennpunkte

Fig. 19.



bezw. Hauptpunkte des ersten Systems mit b_1 und b_2 bezw. p_1 und p_2, die entsprechenden Punkte des zweiten Systems mit β_1 und β_2 bezw. π_1 und π_2, die entsprechenden Punkte des kombinierten Systems mit B_1 und B_2, bezw. P_1 und P_2. Die Brennweiten seien $f_,$ und $f_{,,}$, bezw. $\varphi_,$ und $\varphi_{,,}$, $F_,$ und $F_{,,}$. Der Abstand $p_2\pi_1$ zwischen dem zweiten Hauptpunkte des ersten und dem ersten Hauptpunkte des zweiten Partialsystems sei d, der Abstand $b_2\beta_1$ zwischen den einander zugekehrten Brennpunkten der Partialsysteme sei D.

Wir verfolgen den Weg eines Strahles $\mu_2 q$, der parallel zur Achse das System II verlässt; er muss vor der Brechung in II die Richtung $\mu_1\beta_1$ haben; er verlässt also das System I in der Richtung $s_2\beta_1$. Vor der Brechung im ersten System muss er durch den ersten Brennpunkt B_1 des zusammengesetzten Systems gehen, da er es zur Achse parallel verlässt.

Dieser ist somit der zum ersten Brennpunkte β_1 des zweiten Systems konjugierte Punkt. Verlängern wir $\alpha_2 q$ rückwärts, so muss nach der früheren Definition der Schnittpunkt p dieser Verlängerung mit dem einfallenden Strahle $p s_1$ der ersten Hauptebene des Systems angehören, also der Fußpunkt P_1 des von p auf die Achse gefällten Lotes der erste Hauptpunkt des kombinierten Systems sein: in analoger Weise findet man P_2.

Verfolgen wir den zur Achse parallel einfallenden Strahl $p m_1$, so geht dieser nach der Brechung in I durch b_2. Seine Verlängerung schneidet den Strahl $\alpha_1 s_2$ in o. Zu diesem Schnittpunkte o ist bezüglich des Systems I konjugiert der Punkt p, bezüglich des Systems II der Punkt q.

Kennen wir also die Lage des Punktes o zwischen den beiden Medien, dessen Bilder den Hauptebenen des kombinierten Systems angehören, so können wir die Punkte p und q leicht durch Konstruktion finden. Ziehen wir z. B. $o n_1$ parallel zur Achse, so geht der Strahl vor der Brechung in I durch b_1, den ersten Brennpunkt des ersten Systems; das Bild von o liegt auf dem Schnittpunkte dieses Strahles mit der durch m_1 zur Achse parallel gelegten Geraden, also in p; in analoger Weise finden wir q.

Wir suchen zunächst einen Ausdruck für $p_1 P_1 = h_1$, d. i. den Abstand des ersten Hauptpunktes des ersten Teilsystems von dem ersten Hauptpunkte des kombinierten Systems. Aus den Dreiecken $p m_1 n_1$ und $b_1 p_1 n_1$ ergiebt sich:

$$\frac{m_1 p}{p_1 b_1} = \frac{m_1 n_1}{n_1 p_1}$$

Da $m_1 p = h_1$ und $b_1 p_1 = f_1$ ist, und da weiter $m_1 n_1 = m_2 n_2$ und $n_1 p_1 = n_2 p_2$ ist, so kann die Gleichung geschrieben werden:

$$h_1 = f_1 \cdot \frac{m_2 n_2}{p_2 n_2}.$$

Aus den Dreiecken $m_2 p_2 b_2$ und $m_2 n_2 o$ ergiebt sich $\frac{m_2 n_2}{p_2 n_2} = \frac{m_2 o}{b_2 o}$; aus $o m_2 \alpha_1$ und $o b_2 \beta_1$ erhalten wir: $\frac{m_2 o}{b_2 o} = \frac{m_2 \alpha_1}{b_2 \beta_1}$.

Da $m_2 \alpha_1 = p_2 \alpha_1 = d$ und $b_2 \beta_1 = D$ ist, so wird unsere Gleichung:

$$h_1 = \frac{f_1 d}{D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 16$$

Nun ist $D = p_2 \alpha_1 - p_2 b_2 - \beta_1 \alpha_1$; berücksichtigt man, dass die Abstände nach links von den Hauptpunkten negativ gerechnet werden, so erhalten wir durch Einsetzen der oben eingeführten Bezeichnungen den Ausdruck

$$h_1 = \frac{d f_1}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 17.$$

In analoger Weise ergiebt sich für $h_{,,} = P_2 s_2$

$$h_{,,} = \frac{d \varphi_{,,}}{d + \varphi_{,} - f_{,,}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (17)$$

Den Brennpunkt des kombinierten Systems erhalten wir in Fig. 19 z. B. in der Weise, dass wir den Strahl $\mu_{,} o$ bis zur zweiten Hauptebene des ersten Systems verlängern: da der zugehörige aus dem zweiten System austretende Strahl zur Achse parallel ist, so muss der Strahl vor der Brechung im ersten System durch den ersten Brennpunkt des Gesamtsystems gehen. Da der Strahl auch durch p gehen muss, so liegt B_1 im Schnittpunkte des Strahles ps_1 mit der Achse. Ebenso findet man B_2 (in der Figur nicht gezeichnet).

Für den Wert $P_1 B_1 = F_{,}$ ergiebt sich aus den ähnlichen Dreiecken $P_{,} B_1 p$ und $p m_1 s_1$ und unter Berücksichtigung, dass $p P_1 = \mu_1 \pi_1$ ist,

$$F_{,} = \frac{h_{,} \varphi_{,}}{d} = \frac{f_{,} \varphi_{,}}{d + \varphi_{,} - f_{,,}}$$

und

$$F_{,,} = -\frac{h_{,,} f_{,,}}{d} = -\frac{f_{,,} \varphi_{,,}}{d + \varphi_{,} - f_{,,}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (18)$$

Werden die Brennweiten bei von links kommendem Lichte vom ersten Hauptpunkte nach links und vom zweiten Hauptpunkte nach rechts positiv gerechnet (vgl. oben), so erhalten die Gleichungen die folgende, viel gebrauchte Form:

$$F_{,} = -\frac{f_{,} \varphi_{,}}{f_{,,} + \varphi_{,} - d}; \quad F_{,,} = \frac{f_{,,} \varphi_{,,}}{f_{,,} + \varphi_{,} - d} \quad \ldots \quad (18a)$$

$$h_{,} = -\frac{d f_{,}}{f_{,,} + \varphi_{,} - d}; \quad h_{,,} = -\frac{d \varphi_{,,}}{f_{,,} + \varphi_{,} - d} \quad \ldots \quad (17a)$$

Auch diese Gleichungen lassen sich (GULLSTRAND) in analoger Weise, wie die für eine einzige brechende Fläche (vgl. § 6), in eine einfache Form bringen, worin die Brechkraft des kombinierten Systems in Dioptrien ausgedrückt ist. Dazu ist es nötig, auch die Abstände der brechenden Flächen bezw. der einander zugekehrten Hauptpunkte derselben durch Division mit dem entsprechenden Brechungsindex auf Luft zu reduzieren.

Es sei D_{12} die Brechkraft des aus System I und II kombinierten Systems, $D_{,}$ die Brechkraft des ersten, $D_{,,}$ die des zweiten Teilsystems, $\delta_{,}$ der reduzierte Abstand zwischen dem zweiten Hauptpunkte des ersten und dem ersten Hauptpunkte des zweiten Systems. Bei gleicher Wahl der Vorzeichen, wie sie für Gleichung (10) benutzt wurden, haben wir dann:

$$f_{,} = \frac{n_{,}}{D_{,}}; \quad f_{,,} = \frac{n_{,,}}{D_{,}}; \quad \varphi_{,} = \frac{n_{,,}}{D_{,,}}; \quad \varphi_{,,} = \frac{n_{,,,}}{D_{,,}}; \quad \delta_{,} = \frac{d}{n_{,,}}, \text{ also } d = n_{,,} \delta_{,};$$

$$F_{,} = \frac{n_{,}}{D_{12}}, \quad \text{also } D_{12} = \frac{n_{,}}{F_{,}}.$$

Durch Einsetzen des Wertes für $F_{,}$ aus Gleichung (18a) ergiebt sich

$$D_{12} = D_{,} + D_{,,} - \delta_{,} D_{,} D_{,,} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Bezeichnen wir mit H'_{12} den reduzierten Abstand des ersten Hauptpunktes des ersten Teilsystems vom ersten Hauptpunkte des kombinierten Systems, mit H''_{12} den reduzierten Abstand des zweiten Hauptpunktes des zweiten Teilsystems vom zweiten Hauptpunkte des kombinierten Systems (wobei wir die Abstände positiv rechnen, wenn die Hauptpunkte des kombinierten Systems auf der Bahn des Lichtes den entsprechenden Hauptpunkten des betreffenden Einzelsystems voraus liegen), so erhalten wir:

$$H'_{12} = \frac{\delta_{,} D_{,,}}{D_{12}}; \quad H''_{12} = -\frac{\delta_{,} D_{,}}{D_{12}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

Die Formeln für die Zusammensetzung beliebig vieler Systeme sind aus den vorstehenden unschwer abzuleiten; wir folgen auch hier der Darstellung GULLSTRAND's.

In einem centrierten System brechender Flächen seien $r_{,}$, $r_{,,}$, $r_{,,,}$ die Radien der aufeinander folgenden Flächen und $n_{,}$, $n_{,,}$, $n_{,,,}$, $n_{,,,,}$ die Indices der Medien, sodass $n_{,}$ der Index des vor Fläche $r_{,}$ liegenden Mediums ist; es seien weiter $d_{,} d_{,,} \cdots$ die Abstände der brechenden Flächen von einander, und zwar $d_{,}$ der Abstand zwischen Fläche $r_{,}$ und $r_{,,}$ u. s. w.; das aus den zwei ersten Flächen gebildete System werde durch 12 bezeichnet, das aus der ersten bis $m$ten Fläche gebildete System durch 1 m. Ebenso bedeute z. B. $\delta_{,,}$ den reduzierten Abstand zwischen der zweiten und dritten Fläche, δ_{12} den reduzierten Abstand zwischen dem zweiten Hauptpunkte des aus den zwei ersten Flächen zusammengesetzten Systems und dem Scheitel der Fläche $r_{,,,}$. Es ist also allgemein $\delta_{1m} = \delta_{m} - H''_{1m}$ und speziell $\delta_{12} = \delta_{,,} - H''_{12} = \delta_{,,} + \frac{\delta_{,} D_{,}}{D_{12}}$.

Die Formeln für das aus $r_{,}$ $r_{,,}$ $r_{,,,}$ zusammengesetzte System lauten dann:

$$D_{13} = D_{12} + D_{,,,} - \delta_{12} D_{12} D_{,,,}; \quad H'_{13} = \frac{\delta_{12} D_{,,,}}{D_{13}}; \quad H'_{13} = -\frac{\delta_{12} D_{12}}{D_{13}};$$

$$\delta_{13} = \delta_{,,,} - \frac{\delta_{12} D_{12}}{D_{13}}$$

und für m Systeme ergiebt sich:

$$D_{1m} = D_{1(m-1)} + D_{m} - \delta_{1(m-1)} D_{1(m-1)} D_{m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

$$H'_{1m} = \frac{\delta_{1(m-1)} D_{m}}{D_{1m}}; \quad H''_{1m} = -\frac{\delta_{1(m-1)} D_{1(m-1)}}{D_{1m}}.$$

H''_{1m} giebt den reduzierten Abstand des zweiten Hauptpunktes von der letzten Fläche; der reduzierte Abstand des ersten Hauptpunktes von der ersten Fläche ist gleich: $H'_{12} + H'_{13} + H'_{14} \cdots H'_{1m}$.

Im Falle, dass eine der Flächen durch Spiegelung wirkt, sind vorstehende Formeln ohne weiteres anwendbar, wenn man die Indices der Medien, die das Licht nach erfolgter Spiegelung durchläuft, negativ setzt. Im übrigen gilt

wieder, dass alle Abstände und Radien in der Richtung des einfallenden Lichtes positiv zu nehmen sind.

Für die Untersuchung z. B. der Spiegelung an der vorderen Linsenfläche haben wir 3 Flächen; $r_{,}$ die vordere Hornhautfläche, $r_{,,}$ die vordere Linsenfläche, $r_{,,,} = r_{,}$, und vier Medien:

$$n_{,} = 1\,;\; n_{,,} = n\,;\; n_{,,,} = -n\,;\; n_{,,,,} = -1$$

$$\text{also } D_{,} = \frac{n-1}{R_{,}}\,;\quad D_{,,} = \frac{-2n}{R_{,,}}\,;\quad D_{,,,} = \frac{-1+n}{R_{,}} = D_{,} \text{ und}$$

$$\delta_{,} = \frac{d}{n}\,;\quad \delta_{,,} = \frac{-d}{n} = \delta_{,}\,.$$

§ 15. Die praktische Verwertung der im vorstehenden gewonnenen Ergebnisse für die Dioptrik des Auges möge an einer Berechnung der Kardinalpunkte des menschlichen Auges erläutert werden. Wir legen diesen Berechnungen bestimmte Zahlenwerte zu Grunde, über welche genauere Angaben erst im folgenden Abschnitte gegeben werden; die Berechnungen mögen zunächst nur als Beispiele für die Anwendung der Formeln angesehen werden.

Das brechende System des Auges kann aus zwei Systemen zusammengesetzt gedacht werden: I. Hornhaut + Kammerwasser, II. Linse. Wir können also in der Weise verfahren, dass wir zunächst die Kardinalpunkte für System I und für System II gesondert, und dann die Kardinalpunkte des kombinierten Systems ermitteln.

Wir suchen zunächst die Kardinalpunkte für System I, wobei wir annehmen, dass der Brechungsindex der Hornhaut gleich dem des Kammerwassers sei, also eine einzige Substanz von gleicher optischer Dichtigkeit sich von der vorderen Hornhautfläche bis zur Linse erstrecke. (Genaueres hierüber s. u.)

Es sei der Radius der vorderen Hornhautfläche $r = 7{,}829$ mm, der Brechungsindex von Hornhaut und Kammerwasser $n_{,} = 1{,}3365$, so sind die Brennweiten $f_{,}$ und $f_{,,}$:

$$f_{,} = -\frac{r}{n_{,}-1} = -\frac{7{,}829}{0{,}3365} = -23{,}26 \text{ mm},$$

$$f_{,,} = \frac{n_{,}r}{n_{,}-1} = 23{,}26 \cdot 1{,}3365 = 31{,}09 \text{ mm}.$$

Zur Ermittelung der Kardinalpunkte von System II benutzen wir folgende Werte: Es sei

$n_{,,}$ der Index der Linse	=	1,43
$r_{,}$ Radius der vorderen Linsenfläche	=	10 mm,
$r_{,,}$ Radius der hinteren Linsenfläche	=	6 mm,
d Dicke der Linse	=	3,6 mm,
$n_{,,,} = n_{,}$ Index des Glaskörpers	=	1,3365.

Dann erhält man für die Brennweiten der vorderen bezw. hinteren Linsenfläche:

$$f_, = -\frac{n_, r_,}{n_{,,} - n_,} = -\frac{1,3365 \cdot 10}{1,43 - 1,3365} = -143,0 \text{ mm},$$

$$f_{,,} = \frac{n_{,,} r_,}{n_{,,} - n_,} = \frac{1,43 \cdot 10}{1,43 - 1,3365} = 152,9 \text{ mm},$$

$$\varphi_, = \frac{n_{,,} r_{,,}}{n_{,,} - n_{,,,}} = \frac{1,43 \cdot (-6)}{1,3365 - 1,43} = -91,76 \text{ mm},$$

$$\varphi_{,,} = \frac{n_{,,,} r_{,,}}{n_{,,} - n_{,,,}} = \frac{1,3365 \cdot (-6)}{1,3365 - 1,43} = 85,77 \text{ mm}.$$

Daraus ergiebt sich die Brennweite $F_,$ der ganzen Linse:

$$F_, = \frac{f_, \varphi_,}{d + \varphi_, - f_{,,}} = \frac{(-143,0 \cdot)(-91,76)}{-241} = -54,404 \text{ mm}$$

$$(= -F_{,,}),$$

ferner:

$$h_, = \frac{d f_,}{d + \varphi_, - f_{,,}} = \frac{3,6 \cdot (-143,0)}{-241} = +\ 2,135 \text{ mm},$$

$$h_{,,} = \frac{d \varphi_{,,}}{d + \varphi_, - f_{,,}} = \frac{3,6 \cdot 85,80}{-241} = -\ 1,282 \text{ mm}.$$

Die beiden Hauptpunkte der Linse sind also 3,6 — (2,135 + 1,282) = 0,183 mm von einander entfernt.

Nun wird System I mit System II kombiniert. Hier ist $f_, = -23,26$; $f_{,,} = 31,09$; $-\varphi_, = \varphi_{,,} = 54,404$ mm. Wenn der Abstand des vorderen Linsenscheitels vom Hornhautscheitel = 3,6 mm ist, so ist (da der zweite Hauptpunkt des ersten Systems im Hornhautscheitel gelegen ist), $d = 3,6 + 2,135 = 5,735$ mm. Daraus erhält man die vordere Brennweite des ganzen Auges, $F_, = -15,87$ mm und die hintere Brennweite $F_{,,} = 21,22$ mm.

Für die Lage der Hauptpunkte des ganzen Auges ergiebt sich: $h_, = 1,67$; $h_{,,} = -3,914$ mm. $h_{,,}$ giebt den Abstand des zweiten Hauptpunktes des kombinierten Systems vom zweiten Hauptpunkte des zweiten Systems, nach vorn von ihm gelegen, da es negatives Vorzeichen hat; daher liegt $h_{,,} = 7,2 - (3,914 + 1,282) = 2,004$ mm hinter dem Hornhautscheitel und 0,334 mm hinter dem ersten Hauptpunkte des ganzen Systems. Der hintere Brennpunkt des ganzen Auges liegt danach $21,22 + 2,004 = 23,224$ mm hinter dem Hornhautscheitel.

Der Ort des vorderen Brennpunktes ist danach $= -14,2$ mm. Für den Ort der Knotenpunkte erhält man: $K_, = 7,012$ mm; $K_{,,} = 7,348$ mm.

Nach der Dioptrienrechnung lassen sich die Brechkräfte der einzelnen brechenden Flächen des Auges sowie die des zusammengesetzten Systems z. B. in folgender Weise ermitteln:

I. Hornhaut: Die Brechkraft des Systemes I ist:

$$D = \frac{n_,}{f_,} = \frac{1}{0,02326} = 42,99 \text{ Dioptrien}.$$

Sie ist also, (da $n_{,} = 1$) ausgedrückt durch den reciproken Wert der in **Metern gemessenen** vorderen Brennweite.

II. **Linse**: Die Brechkraft der vorderen Linsenfläche ist:

$$D_{,} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r_{,}} = \frac{0{,}0934}{10} = 9{,}34 \text{ Dioptrien.}$$

Die Brechkraft der hinteren Linsenfläche ist:

$$D_{,,} = \frac{n_{,,,} - n_{,,}}{-r_2} = \frac{0{,}0934}{6} = 15{,}58 \text{ Dioptrien.}$$

Ferner ist:

$$\delta = \frac{d}{n_{,,}} = \frac{0{,}0036}{1{,}43} = 2{,}518 \text{ mm.}$$

Daher ist die Brechkraft der Linse:

$$D_{12} = D_{,} + D_{,,} - \delta D_{,} D_{,,} = 24{,}55 \text{ Dioptrien.}$$

Hieraus berechnet sich:

$$H'_{12} = 1{,}598 \text{ mm}, \quad H''_{12} = 0{,}9578 \text{ mm.}$$

Die Übereinstimmung dieser Werte mit den vorher auf anderem Wege gefundenen ergiebt sich z. B. für die Brennweite der Linse, indem man den Wert 54,44 durch den Linsenindex (1,43) dividiert und dann in Dioptrien ausdrückt. Aus H'_{12} und H''_{12} ergeben sich die vorher gefundenen Werte für $h_{,}$ und $h_{,,}$ durch Multiplikation von $h_{,}$ bezw. $h_{,,}$ mit dem Index des Kammerwassers bezw. Glaskörpers.

Für das aus I und II zusammengesetzte System gilt:

$$D_{,} = 42{,}99, \quad D_{,,} = 24{,}55,$$

$$\delta = \frac{5{,}735}{1{,}3365} = 4{,}29 \text{ mm,}$$

also $D_{12} = 63$ Dioptrien.

$$H'_{12} = 1{,}67, \quad H''_{12} = -2{,}927,$$

$$\left(\text{man sieht, dass } H'_{12} = \frac{h_{,}}{1} \text{ und } H''_{12} = \frac{h_{,}}{1{,}3365}\right).$$

Die hintere Brennweite des Auges ergiebt sich aus der Formel $D_{12} = \frac{n_{,,}}{F_{,,}}$, es ist

$$F_{,,} = \frac{n_{,,}}{D_{12}} = \frac{1{,}3365}{63} = 21{,}22 \text{ mm.}$$

Dies ist der Abstand des hinteren Brennpunktes vom zweiten Hauptpunkte des Systems; da dieser 2,004 mm hinter dem Hornhautscheitel liegt, so ist der Ort des hinteren Brennpunktes, d. i. sein Abstand vom Hornhautscheitel (= Achsenlänge des Auges) = 23,224 mm. Die Ebene der

lichtempfindlichen Schicht muss 23,224 mm hinter dem Hornhautscheitel liegen, damit ein unendlich entferntes Objekt in ihr abgebildet werde.

Unter Benutzung der von STADFELDT (1899) mitgeteilten Zahlen (s. u.) ergeben sich folgende Werte:

Brechkraft von	System I	= 42,48	Dioptrien.
Brechkraft der	Linsenvorderfläche	= 9,013	»
»	Linsenhinterfläche	= 16,45	
	ganzen Linse	= 25,089	
	des Auges	= 62,738	»

Litteratur[1].

1830. Möbius, Kurze Darstellung der Haupteigenschaften eines Systems von Linsengläsern. Crelle's Journ. V. S. 113.

1840. Gauss, Dioptrische Untersuchungen. Abhandl. d. königl. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen.

Bessel, Über die Grundformeln der Dioptrik. Astron. Nachr. XVIII. S. 97.

1844. Moser, Über das Auge. Dove's Repert. V.

1845. Listing, Beitrag zur physiologischen Optik. Göttingen.

1851. Listing, Mathematische Diskussion des Ganges der Lichtstrahlen im Auge. Göttinger Studien.

1853. Listing, Handwörterbuch der Physiologie von Wagner. IV.

1866. Neumann, Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems. Leipzig.

Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Wien.

1867. Helmholtz, Physiol. Optik. 1. Aufl.

1868. Listing, Über einige merkwürdige Punkte in Linsen und Linsensystemen. Pogg. Ann. CXXIX.

1874. Hirschberg, Klinische Beobachtungen aus der Augenheilanstalt. Nebst einem Anhange über dioptrische und katoptrische Kurven. Wien.

1876. Stammeshaus, Darstellung der Dioptrik des normalen menschlichen Auges. Oberhausen.

1877. Matthiessen, Grundriss der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.

1878. Hirschberg, Elementare Darstellung der Gauss'schen Dioptrik kugeliger Flächen. Beiträge z. prakt. Augenheilk. Heft 3. S. 30.

1879. Ferraris, Die Fundamental-Eigenschaften der dioptrischen Instrumente. Deutsch von Lippich. Leipzig.

1886. Meisel, Geometrische Optik. Halle.

1892. Hirschberg, Einführung in die Augenheilkunde.

1893. Czapski, Theorie der optischen Instrumente nach Abbe.

1 Ein vollständiges Litteraturverzeichnis über die in diesem Buche besprochenen Gegenstände wäre viel zu umfangreich und würde kaum dem Zwecke des Buches entsprechen. Ich habe mich daher darauf beschränkt, bei den vorwiegend physikalischen Abschnitten im Litteraturverzeichnisse außer einigen von mir hauptsächlich benutzten Abhandlungen nur die im Texte erwähnten Werke aufzuführen und verweise im übrigen z. B. auf die sehr ausführliche einschlägige Litteraturübersicht in der zweiten Auflage der Physiologischen Optik von v. Helmholtz. Den klinischen Abschnitten habe ich ein etwas ausführlicheres Litteraturverzeichnis angefügt, ohne auch hier Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen. Aus naheliegenden Gründen habe ich vorwiegend die Litteratur der letzten 40 Jahre berücksichtigt.

1895. Heath, A treatise on geometrical optics. Cambridge. 2. Aufl.
1897. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik.
1898. Stadfeldt, Den menneskelige Linses optiske constanter. Kopenhagen.
1899. Gullstrand, Über die Bedeutung der Dioptrie. Arch. f. Ophth. IL. S. 46.

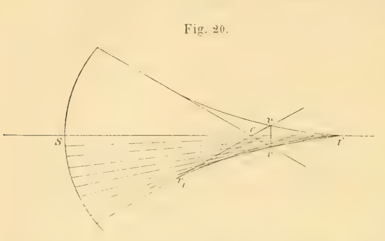
Sphärische Aberration und Astigmatismus.

§ 16. Das bis hierher Mitgeteilte ist, wie schon betont wurde, nur für den Fall streng giltig, dass die in Betracht kommenden Strahlen sehr kleine Winkel mit der Achse bilden, also angenähert senkrecht auf die brechenden Flächen auffallen. Vom Standpunkte der Wellenlehre besagt dies, dass nur unter dieser Voraussetzung die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Wellen auch nach der Brechung wieder Kugelwellen darstellen, deren Mittelpunkt der Bildpunkt ist. Von diesen Gesetzen, welche bekanntlich als die Gauss'sche Abbildungslehre bezeichnet werden, ergeben sich wesentliche Abweichungen, wenn die einfallenden Strahlen die brechende Fläche in größerem Abstande von der Achse treffen und mit der ersteren größere Winkel bilden, (wie dies im menschlichen Auge thatsächlich der Fall ist); die gebrochene Welle stellt dann nicht mehr eine Kugelwelle dar. Die für die Dioptrik des Auges wichtigsten hierdurch bedingten Abweichungen von der bisher erörterten Abbildungsweise sind die sphärische Aberration und der Astigmatismus.

Sphärische Aberration. Wenn ein Bündel paralleler Strahlen auf eine konvexe brechende Fläche derart auffällt, dass der Hauptstrahl des Bündels senkrecht auf der Fläche steht, so werden in größerem Abstande von der Achse auffallende Strahlen nicht in dem gleichen Punkte der Achse vereinigt, wie die Mittelstrahlen, sondern in einem dem Scheitel der Fläche näher gelegenen Achsenpunkte; der Vereinigungspunkt entfernt sich um so weiter von jenem der Nullstrahlen, je weiter die Strahlen von der Achse entfernt die Fläche treffen. Sämtliche gebrochenen Strahlen tangieren eine Fläche, die sogenannte kaustische Fläche, die von einer Achsenebene in der kaustischen Linie r, f (Fig. 20) geschnitten wird. Die Form der kaustischen Fläche ergiebt sich, wenn man die Linie r, f um die Achse rotieren lässt. Für die gewöhnlichen sammelnden Systeme ist im allgemeinen die Vereinigungsweite der Randstrahlen kleiner, als die der Achsenstrahlen, die Spitze der kaustischen Fläche ist also (bei von links kommendem Lichte) nach rechts gerichtet (≻). Bei den gewöhnlichen zerstreuenden Systemen (z. B. Konkavlinsen) vereinigen sich die Centralstrahlen früher, als die Randstrahlen, die Spitze der kaustischen Linie ist dem Lichte entgegengerichtet (≺). Systeme der ersteren Art heißen mit positiver Aberration behaftet oder unterkorrigiert, solche der zweiten mit negativer Aberration behaftet oder überkorrigiert.

Wenn also von einem leuchtenden Punkte Strahlen durch centrale und periphere Teile einer sphärischen Linse hindurchgehen, so ist das Bild des Punktes nicht wieder ein Punkt, sondern eine Lichtfläche, für welche Durchmesser und Lichtverteilung an verschiedenen Punkten der Achse verschieden sind. Man erhält davon eine Vorstellung, wenn man auf der Strecke cf (zwischen dem Vereinigungspunkte der centralen Strahlen einerseits und jenem der am weitesten peripher einfallenden [Rand-] Strahlen andererseits) einen weißen Schirm senkrecht zur Achse verschiebt. Aus der Figur ist ersichtlich, dass diese Lichtfläche den kleinsten Durchmesser an derjenigen Stelle rr zwischen dem Schnittpunkte der Centralstrahlen und dem der Randstrahlen hat, wo die kaustische Kurve von den Randstrahlen geschnitten wird. Den Radius dieses kleinsten Zerstreuungskreises bezeichnet man als die Lateral- oder Seitenabweichung.

Fig. 20.



Die Strecke cf heißt sphärische Längsaberration und kann für parallel einfallendes und central in einer sphärischen Fläche gebrochenes Licht berechnet werden nach der Formel: $cf = \frac{r^2}{2n(n-1)R}$, worin R den Radius der brechenden Fläche, r jenen der Öffnung des Systems bedeutet. Für den Abstand des dünnsten Querschnittes vom Brennpunkte ergiebt sich die Formel $rf = \frac{3r^2}{8n(n-1)R}$, da (für nicht zu große Öffnung des Bündels) $rf = \frac{3}{4} cf$ ist. Nimmt man den Ort dieses dünnsten Querschnittes als den Ort des Bildpunktes, so ergiebt z. B. für eine sphärische Hornhaut mit einem Radius von 7,8 mm die Rechnung bei minimalem Radius der Pupille, bezw. einem solchen von 1, 2, 3 mm, einen Refraktionswert der Hornhaut von 43,27, bezw. 43,42, 43,88, 44,64 Dioptrien (vgl. Gullstrand, Untersuchungen über die Hornhautrefraktion).

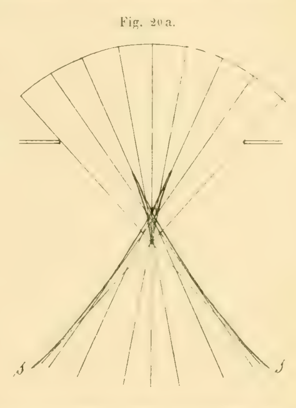
Bezüglich der Lichtverteilung in der Zerstreuungsfläche zeigt die Figur, dass vor (d. i. links von) dem kleinsten Zerstreuungskreise das Licht in der Peripherie stärker ist als im Centrum; umgekehrt ist das Centrum heller, wenn der Schirm sich hinter dem kleinsten Zerstreuungskreise befindet.

Bei einem Strahlengange vom Typus der Figur 20, der einer sphärischen brechenden Fläche entspricht), fällt in dem der Blendenebene zunächst

gelegenen Querschnitte des Strahlenbündels, welcher schon eine Schnittlinie mit einer Brennfläche zeigt, diese Schnittlinie mit der Begrenzungslinie des Strahlenbündelquerschnittes zusammen.

Das im Auge gebrochene Strahlenbündel gehört im allgemeinen einem anderen Typus an, der durch Fig. 20a (nach GULLSTRAND) veranschaulicht und durch Zunahme des Hornhautradius in den peripheren Hornhautteilen bedingt ist. Hier fällt jene Schnittlinie des Querschnittes der Brennfläche nicht mit der Begrenzungslinie des Strahlenbündels zusammen. Bei der in Fig. 20a angenommenen Blendenöffnung geht der äußerste Strahl durch den Brennpunkt. Bei etwas kleinerer Blende wird sich der äußerste Strahl so verhalten, wie wenn die Aberration im ganzen Bündel positiv wäre, bei größerer so, wie wenn sie im ganzen Bündel negativ wäre. Diese Verschiedenheit zwischen den äußersten Strahlen und dem Hauptstrahle bezeichnet GULLSTRAND als periphere Totalaberration. Eine negative periphere Totalaberration besagt nur, dass die äußersten Strahlen sich so verhalten, wie wenn die Aberration der brechenden Fläche negativ wäre, obwohl sie thatsächlich positiv sein kann. Die Brennfläche hat in diesem Falle eine Kante, die der brechenden Fläche zugekehrt ist.

Fig. 20a.



(Über die sphärische Aberration von Glaslinsen vgl. § 63.)

§ 17. Wird von einem punktförmigen Objekte nicht wieder ein punktförmiges Bild entworfen, so bezeichnet man die Abbildung im allgemeinen als astigmatische. Im folgenden ist zunächst nur der sogenannte reguläre Astigmatismus Gegenstand der Untersuchung; dieser ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass die in Betracht kommenden brechenden Flächen genügend regelmäßig gekrümmt sind, um eine mathematische Untersuchung des Strahlenganges zu gestatten, während diese Voraussetzung bei dem später zu erörternden irregulären Astigmatismus im allgemeinen nicht erfüllt ist.

Unsere Kenntnisse vom astigmatischen Strahlenbündel beschränkten sich früher im wesentlichen auf die Gesetze, die STURM (1838) abgeleitet hatte und die durch das sogenannte STURM'sche Conoid veranschaulicht werden. Eine wesentliche Weiterentwicklung (genaueres s. Abschnitt 11) brachten vor allem die grundlegenden Arbeiten GULLSTRANDS (1891, 1901) über den Astigmatismus und die Aberrationen, aus welchen u. a. hervorgeht, dass die Anwendung des STURM'schen Conoids auf den Strahlengang im menschlichen Auge im allgemeinen unstatthaft ist, da bei den gewöhnlichen Graden des physiologischen und pathologischen Astigmatismus für das im Auge gebrochene Strahlenbündel auch nur die entfernteste Ähnlichkeit mit dem Typus des STURM'schen Conoides ausgeschlossen ist.«

Ich beschränke mich im folgenden auf eine gedrängte Übersicht über die für uns wichtigsten Punkte der GULLSTRAND'schen Untersuchungen, unter Verzicht auf die von ihm gegebenen mathematischen Ableitungen.

»Wenn man bei Untersuchung der Abweichungen von der Homocentricität auf der ersten Stufe der Rechnung stehen bleibt, indem man nur die Differentialquotienten erster und zweiter Ordnung der Wellenflächengleichung berücksichtigt, so erhält man die Gesetze des Astigmatismus. Man findet, dass ein Strahl in einem beliebigen Strahlenbündel entweder nur in einem oder aber in zwei verschiedenen Punkten von nächstliegenden Strahlen getroffen wird; in letzterem Falle ist das Strahlenbündel längs dem fraglichen Strahle astigmatisch . . . Längs einem bestimmten, beliebigen Strahl giebt es im allgemeinen zwei Focalpunkte, in welchen er von den nächstliegenden, aber auch nur von den nächstliegenden Strahlen getroffen wird, und diese, aber auch nur diese, liegen in zwei aufeinander senkrechten Ebenen, welche wir als Hauptschnitte des Strahlenbündels in Bezug auf den fraglichen Strahl bezeichnen. Wenn man den Boden des mathematischen Wissens verlässt und auf dieser Stufe der Rechnung eine Approximation macht, um sich den Bau des Strahlenbündels zu veranschaulichen, so gelangt man zum Conoid von STURM, welches, obwohl ein nach seinem Typus gebautes Strahlenbündel mathematisch unmöglich ist, doch durch seine Einfachheit wesentlich zur Verbreitung der Kenntnisse vom Astigmatismus beigetragen hat.«

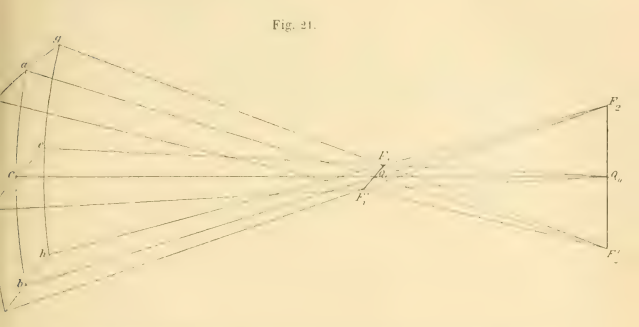
Die mathematische Untersuchung lehrt, dass es verschiedene Arten astigmatischer Strahlenbündel giebt, die sich in 3 Hauptgruppen teilen lassen, je nachdem das Bündel zwei, eine oder gar keine Symmetrieebenen besitzt.

Die erste Gruppe mit 2 Symmetrieebenen entspricht der früher fast ausschließlich erörterten Form des Astigmatismus, dem STURM'schen Conoid, das sich in folgender Weise veranschaulichen lässt:

Es falle ein unendlich dünnes homocentrisches Strahlenbündel rechtwinkelig im Punkte c auf eine asymmetrische Fläche. Eine solche ist dadurch charakterisiert, dass sie von 2 zueinander senkrecht durch die Achse

$eQ_{\prime\prime}$ gelegten Ebenen in 2 Kurven *acb* und *dce* geschnitten wird, von welchen die eine die Kurve stärkster Krümmung, die andere die Kurve schwächster Krümmung darstellt. Erstere werde als erste, letztere als zweite Hauptkrümmung bezeichnet.

Fig. 21.



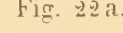
Sturm hat analytisch die Form des Strahlenbündels entwickelt, welche ein homocentrisches, unendlich dünnes, einfallendes Bündel nach Brechung an einer solchen Fläche zeigt. Diejenigen Strahlen des Flächenelements *fghi*, welche, dem Punkte *c* unendlich benachbart, von der Linie größter Krümmung (*acb*) ausgehen, schneiden sich im Punkte $Q_{\prime}$ der Achse, die Strahlen, welche von der Linie schwächster Krümmuug (*dce*) ausgehen, schneiden sich im Punkte $Q_{\prime\prime}$.

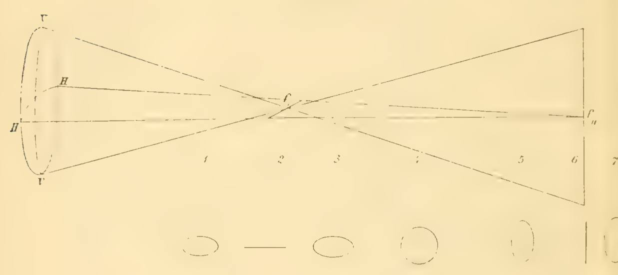
Für die in *acb* und *dce* einfallenden Strahlen giebt es also auf der Achse zwei Brennpunkte. Verfolgt man nun ein Büschel von Strahlen, die dem Punkte *c* unendlich benachbart, von Punkten kommen, die der ersten Hauptkrümmung parallel verlaufen, wie *fdi* und *gch*, so gehen die Hauptstrahlen dieser Büschel, da sie alle dem Büschel *dce* angehören, durch $Q_{\prime\prime}$, und da diese Büschel auf der zweiten Hauptkrümmungsebene senkrecht stehen, so schneiden sie sich in einer zu $Q_{\prime\prime}dc$ und zur Achse $cQ_{\prime\prime}$ senkrechten Linie $F_2F'_2$ der zweiten Brennlinie; in analoger Weise werden alle Strahlen, die von Punkten einer Linie kommen, welche zur zweiten Hauptkrümmung parallel sind, wie *fag* und *ibh*, sich in der ersten Brennlinie $F_1F'_1$ schneiden, die zur Achse und zur Ebene der ersten Hauptkrümmung senkrecht steht.

Ein homocentrisches Strahlenbüschel ist somit nach Brechung an einer derartigen Fläche nicht mehr homocentrisch: die gebrochenen Strahlen

schneiden sich (unter den Voraussetzungen Sturm's) in 2 geraden Linien, die in den beiden Brennpunkten der Achse auf dieser und zu einander senkrecht stehen. In der ersten Brennlinie liegen die Brennpunkte der zur ersten Hauptkrümmungsebene senkrechten Partialbüschel und umgekehrt. Dies gilt genau aber nur für den Fall, dass gleichnamige Hauptkrümmungsebenen in unmittelbarer Nähe eines unendlich kleinen Flächenelements einander merklich parallel sind, also nur für unendlich dünne Strahlenbüschel, nicht aber für solche von endlicher Dicke.

Die Form des von einem punktförmigen Objekte entworfenen Bildes nach diesem Sturm'schen Conoid erhält man, wenn man einen zur Achse senkrecht gehaltenen Schirm auf letzterer verschiebt.


Fig. 22a.



Ist die Begrenzung der brechenden Fläche kreisförmig und die vertikale Hauptkrümmung stärker als die horizontale, so ist ersichtlich (s. Fig. 22a), dass der Querschnitt des Strahlenbündels vor der vorderen Brennlinie (etwa entsprechend der Stelle 1 der Achse) die Form einer Ellipse mit horizontaler großer Achse zeigt; bei 2 bildet er eine horizontale Gerade, die vordere Brennlinie; bei 3 eine Ellipse mit horizontaler Achse, die sich in dem Maße, als man den Schirm nach hinten verschiebt, einem Kreise nähert; bei 4 einen wirklichen Kreis, den Brennkreis; bei 5 und 7 Ellipsen mit vertikaler großer Achse, und dazwischen bei 6 eine vertikale Linie, die hintere Brennlinie. Der ganze Querschnitt des Bündels ist in allen seinen Teilen gleichmäßig hell.

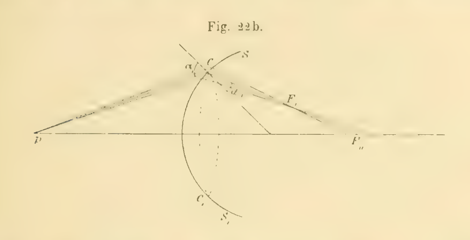
Diese Form des Astigmatismus hat man früher vielfach als für alle regulär astigmatischen Strahlenbündel charakteristisch angesehen. Sie ist dadurch

ausgezeichnet, dass das gebrochene Strahlenbündel um die beiden Hauptkrümmungsebenen der brechenden Fläche symmetrisch ist; es hat also zwei Symmetrieebenen und zwei zur Achse und zu einander senkrechte Brennlinien.

Eine zweite Form von Astigmatismus erhält man z. B., wenn ein dünnes, homocentrisches Strahlenbüschel schief oder excentrisch auf eine sphärische Fläche auffällt.

Es werde eine Kugelfläche durch die (mit der Papierebene zusammenfallende) Achsenebene in dem Kreisbogen $ss_,$ geschnitten; es sei weiter im Punkte c eine Ebene zur Achse senkrecht gelegt, die also die Kugelfläche

Fig. 22b.



in dem Kreise $cc_,$ schneidet. Die erstere Schnittlinie kann mit den Meridianen der Erdkugel, die letztere mit deren Parallelkreisen verglichen werden; man nennt daher die betreffenden Ebenen Meridional- bezw. Aequatorialebenen, (letztere auch Sagittalebenen). Wir betrachten zunächst den Fall, dass der Leitstrahl des Strahlenbündels die Achse des Systems schneide, also einfallender und gebrochener Leitstrahl in der Ebene des Papiers verlaufen. In der unmittelbaren Umgebung des Punktes c werden die in der Aequatorialebene einfallenden Strahlen sich alle in dem Punkte $F_{,,}$ der Achse schneiden. Von den in der Meridionalebene einfallenden Strahlen werden die weiter von der Achse entfernt einfallenden stärker abgelenkt, als die der Achse näher einfallenden. Die Strahlen vereinigen sich daher in einem Punkte $F_,$ des Leitstrahls $cF_,$.

Bezeichnen wir die Strecke pc mit $f_,$, die Strecke $cF_,$ mit $f_{,,}$ und die Strecke $cF_{,,}$ mit $f_{,,,}$, den Radius der Kugelfläche mit r, den Einfalls- bezw. Brechungswinkel des Leitstrahles der betreffenden Strahlenbündel mit $\alpha_,$ und $\alpha_{,,}$, die Indices des ersten, bezw. zweiten Mediums mit $n_,$ bezw. $n_{,,}$, so lassen sich die Werte für $f_,$ und $f_{,,}$ nach den folgenden beiden (der Formel (3) für Centralstrahlen entsprechenden) Gleichungen finden. Es ist für die Meridionalstrahlen:

$$\frac{n_{,,}\cos^2\alpha_{,,}}{f_{,,}} - \frac{n_,\cos^2\alpha_,}{f_,} = \frac{n_{,,}\cos\alpha_{,,} - n_,\cos\alpha_,}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

und für die Äquatorialstrahlen

$$\frac{n_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime\prime}} - \frac{n_{\prime}}{f_{\prime}} = \frac{n_{\prime\prime} \cos \alpha_{\prime\prime} - n_{\prime} \cos \alpha_{\prime}}{r} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 23\,a$$

Dabei sind die Abstände $f_{\prime}$, $f_{\prime\prime}$, $f_{\prime\prime\prime}$ nicht auf der Achse, sondern längs des betreffenden Leitstrahles zu messen.

Für die Form dieses gebrochenen, astigmatischen Strahlenbüschels ergiebt sich als wesentlicher Unterschied von dem ersten, dass die Bedingungen zu beiden Seiten der für alle Brechungen gemeinsamen Brechungsebene identisch sind. Das gebrochene Strahlenbündel ist also um die Brechungsebene symmetrisch. Diese zweite Form des Astigmatismus (die zuerst von L. Hermann eingehender untersucht wurde), ist somit dadurch charakterisiert, dass sie nur eine Symmetrieebene hat. Man kann sie sich z. B. zur Anschauung bringen, indem man etwa eine bikonvexe Linse in passender Entfernung von einer punktförmigen Lichtquelle derart aufstellt, dass die Strahlen der letzteren schief durch das Linsencentrum treten, und nun das Bild der Lichtquelle auf einem verschiebbaren weißen Schirme auffängt. (Einige der so zustande kommenden Bilder sind von Burnett und v. Zehender auf photographischem Wege festgehalten worden.)

Gullstrand unterscheidet verschiedene Unterarten dieser Form des Astigmatismus, von welchen die für die physiologische Optik wichtigste durch folgendes charakterisiert ist. Es findet sich nicht eine erste Brennlinie, sondern nur ein erster dünnster Querschnitt (entsprechend der Stelle $F_{\prime}$ in der Figur), der aber auf dem Leitstrahle senkrecht steht; er ist nicht gleichmäßig beleuchtet, sondern eine Seite stärker als die andere. Das Strahlenbündel hat ferner eine zweite Brennlinie, die aber nicht auf dem Leitstrahle senkrecht steht, sondern mit ihm einen spitzen Winkel bildet. Man kann also nie durch Abschneiden mit einer gegen den Leitstrahl senkrechten Ebene eine Brennlinie erhalten. Von solcher Form ist u. a. auch das im Auge gebrochene Strahlenbündel, (das man früher der ersten Form angehörig glaubte); wie groß der Unterschied zwischen beiden ist, geht aus Berechnungen Gullstrand's hervor, wonach im schematischen Auge unter der Voraussetzung, dass die Visierlinie mit der optischen Achse einen Winkel von 5° bildet, an Stelle der ersten Brennlinie sich ein erster dünnster Querschnitt findet, dessen Breite 76 % der Länge beträgt, und dass die zweite Brennlinie nicht senkrecht auf dem Leitstrahle steht, sondern mit ihm einen Winkel von nur 2° 42′ 52″ bildet.

Die dritte Form des Astigmatismus findet sich, wenn der Leitstrahl des einfallenden Strahlenbündels die Achse des Systems nicht schneidet, die Brechungsebenen in den verschiedenen Medien also nicht mehr zusammenfallen, daher das gebrochene Bündel im allgemeinen nicht mehr um eine Ebene symmetrisch ist.

Diese dritte Form ohne jede Symmetrieebene stellt die allgemeine Form des astigmatischen Strahlenbündels dar. Sie hat keine geraden Brennlinien und braucht überhaupt keine Brennlinie zu haben.

Fassen wir kurz zusammen, so hat die erste, früher ausschließlich erörterte Form des Astigmatismus 2 Symmetrieebenen: senkrechte Incidenz im Scheitel einer asymmetrischen Fläche. Die zweite Form hat eine Symmetrieebene: z. B. schiefe oder excentrische Incidenz in einem Systeme centrierter Rotationsflächen. Der Leitstrahl schneidet die Achse des Systems. Die dritte Form hat keine Symmetrieebene: schiefe Incidenz, der Leitstrahl schneidet die Achse nicht.

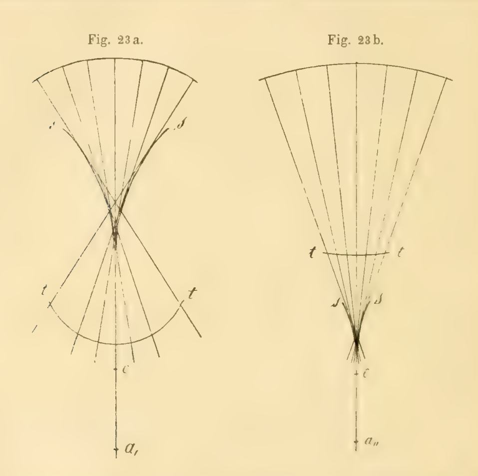
Wenn ein astigmatisches Strahlenbündel in einer cylindrischen Fläche so gebrochen wird, dass der Astigmatismus verschwindet, so wird dadurch doch im allgemeinen das Bündel nicht um eine Ebene symmetrisch gemacht, um welche das einfallende Bündel nicht symmetrisch war. Gullstrand zeigte, dass im allgemeinen ein astigmatisches Strahlenbündel kaum je homocentrisch im strengen Sinne gemacht werden kann; er nennt daher solche Bündel quasihomocentrisch oder anastigmatisch und unterscheidet, den 3 Formen des Astigmatismus entsprechend, 3 Formen anastigmatischer Bündel, je nachdem das Bündel zwei, eine oder keine Symmetrieebene hat.

Neuerdings hat nun Gullstrand seine Berechnungen weitergeführt, indem er in der Wellenflächengleichung auch die Differentialquotienten vierter Ordnung berücksichtigte); er erhielt so die Gesetze der Aberrationen und zwar für Abweichungen von der Größenordnung der gewöhnlich als sphärische Aberration bezeichneten.

Das astigmatische Strahlenbündel, das der vorhin als erste bezeichneten Form entspricht und 2 Symmetrieebenen besitzt, lässt sich bei Mitberücksichtigung der Aberrationen in der folgenden Weise darstellen (Fig. 23a u. b): (Als Hauptstrahl ist der mit der Schnittlinie beider Symmetrieebenen zusammenfallende Strahl angenommen; die Symmetrieebenen sind also Hauptschnitte des Strahlenbündels längs dem Hauptstrahle.) Fig. 23a zeigt den Strahlenverlauf im ersten, Fig. 23b den im zweiten Hauptschnitte. Die Punkte, in welchen jeder in einem Hauptschnitte verlaufende Strahl von nächstliegenden Strahlen getroffen wird, bilden zusammen eine, (der kaustischen Linie entsprechende) krumme Linie, die als *S*-Linie bezeichnet werden möge. Sie hat ihre Spitze im Berührungspunkte mit dem Hauptstrahle und kann innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen als semikubische Parabel angesehen werden. Die Schnittlinie des betreffenden Hauptschnittes mit der Wellenfläche entspricht der Evolute der bezüglichen *S*-Linie. Wenn ferner auf jedem Strahle der bezügliche zweite Brennpunkt verzeichnet wird, so erhält man durch Verbindung dieser Punkte eine andere krumme Linie, die als *t*-Linie bezeichnet werden möge. Ihr Krümmungsmittelpunkt liegt für das in Frage stehende astigmatische, symmetrische Strahlenbündel auf dem Hauptstrahle. Ihre Krümmung bestimmt die »transversale Aberration«. Bei positiven Aberrationswerten wenden die *s*-Linien ihre Spitzen, die *t*-Linien ihre Konvexität nach der Richtung, in der sich das Licht bewegt.

Die Gestalt der Brennflächen in diesem astigmatischen Strahlenbündel ohne Asymmetrie kann man annähernd erhalten, indem man die *s*-Linie des einen Hauptschnittes längs der *t*-Linie des anderen so gleiten lässt, dass die Spitze immer auf dieser liegt, während sowohl die Ebene, in welcher die Kurve liegt, wie ihre Tangente in der Spitze zur ursprünglichen Lage parallel bleibt. Es entsteht dann bei positiven Aberrationswerten eine konvex-konkave Fläche mit einer mit der betreffenden *t*-Linie zusammenfallenden Kante.

Fig. 23a. Fig. 23b.



Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung der Aberrationen im astigmatischen Strahlenbündel die zwei Brennlinien des Sturm'schen Conoids nicht bestehen. Wenn die Aberrationswerte = Null sind, so existieren bis auf Fehler, welche höheren Potenzen der Brüche $\frac{R}{F_{,}}$ bezw. $\frac{R}{F_{,,}}$ als der dritten entsprechen, wenn R den Radius der Blendenöffnung, $F_{,}$ bezw. $F_{,,}$ den Abstand des ersten, bezw. zweiten Brennpunktes von der Blendenebene bedeutet, zwei Brennlinien, von welchen aber nur eine gerade sein kann, da der Krümmungsunterschied gleich der Brennstrecke ist. Versteht man unter Brennlinien mathematische Linien, so existieren 2 Brennlinien eines astigmatischen Strahlenbündels ohne Asymmetrie nur, falls die Wellenfläche

eine torische Fläche im weitesten Sinne des Wortes ist. Aber auch dann ist nur die eine Brennlinie gerade).

Für das symmetrische anastigmatische Strahlenbündel hat bei endlichem Werte der transversalen Aberration die *t*-Linie eine Spitze im Focalpunkte, in der sie vom Hauptstrahle berührt wird.

Wir müssen darauf verzichten, auch Gullstrand's Untersuchungen über die Strahlenbündel mit einfacher und doppelter Asymmetrie sowie die entsprechenden anastigmatischen Strahlenbündel hier zu erörtern. Im Abschnitte über die klinischen Erscheinungsformen des Astigmatismus werden wir auf einzelne hierhergehörige Punkte zurückkommen.

Litteratur s. am Schlusse von Abschnitt II.

Abschnitt II.

Die Konstanten des menschlichen Auges.

§ 18. Im ersten Abschnitte haben wir die physikalischen Gesetze kennen gelernt, nach welchen die auf ein centriertes System von brechenden Medien auffallenden Strahlen bei ihrem Durchtritte durch dieses aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden. Das Auge ist ein solches zusammengesetztes optisches System, dessen Kardinalpunkte in der angegebenen Weise zu berechnen sind. Hierzu ist eine möglichst genaue Kenntnis der Form und des gegenseitigen Abstandes der brechenden Flächen, sowie der Brechungsindices der betreffenden Medien erforderlich.

Krümmung der Hornhaut. Die ersten Versuche zur Bestimmung der Hornhautkrümmung machte Petit mittels Kupferplättchen, an welchen Kurven von verschiedenen Krümmungen ausgeschnitten waren, die an das Auge angelegt wurden. Von der sich am besten anschmiegenden Kurve wurde der Radius bestimmt. Thomas Young maß Basis und Höhe seiner eigenen Hornhaut und berechnete daraus den Radius unter der Voraussetzung, dass die Hornhaut einem Kugelsegmente entspräche.

Kohlrausch und Senff wandten zum ersten Male das heute allgemein benutzte, zuerst von Home und Ramsden angegebene Prinzip an, die Größe des Bildes zu messen, welches von einem Objekte von bekannter Größe und bekanntem Abstande durch Spiegelung an der Hornhautoberfläche entworfen wird. Die Methode wurde von Helmholtz durch die Konstruktion seines (nach dem Prinzip des Meyerstein'schen Heliometers gebauten) Ophthalmometers wesentlich vervollkommnet, so dass erst von diesem Zeitpunkte an genauere Messungen vorgenommen werden konnten. Die anfänglich auf den

horizontalen Hornhaut-Meridian beschränkten Messungen wurden durch Knapp, Donders und Middelburg auf den vertikalen Meridian ausgedehnt. Aubert beseitigte einige Konstruktionsmängel des Helmholtz'schen Ophthalmometers und förderte mit seinem verbesserten Instrumente unsere Kenntnis von der Krümmung der Hornhaut in mehreren wichtigen Punkten. Javal hat das Verdienst, dem Ophthalmometer in sinnreicher Weise eine besonders handliche Form gegeben und dadurch klinische Messungen in größerem Umfange ermöglicht zu haben. Solche sind insbesondere von Sulzer, Pflüger, Steiger (und vielen anderen) sehr zahlreich vorgenommen worden.

Die ophthalmometrische Messung ergiebt nicht den Wert für den Hornhautradius in einem bestimmten Punkte, sondern den Schnittpunkt zwischen zwei Hornhautnormalen, die eine bestimmte Strecke (bei dem Javal'schen Instrument ca. 3 mm, genau 2,94 mm) von einander entfernt sind. Dieser Schnittpunkt wird als der Krümmungsmittelpunkt des zwischen beiden Normalen gelegenen Bogenstückes angesehen, was um so genauer zutrifft, je näher beide Normalen bei einander liegen. Nimmt man nun nacheinander Messungen an verschiedenen Stellen der Hornhaut vor, so können, wie Gullstrand hervorhebt, die Beobachtungsfehler der verschiedenen zu einander in Beziehung zu bringenden Messungen (wie z. B. bei der Bestimmung der Hornhautradien an nahe beieinander gelegenen Stellen eines Meridians) störende Werte erreichen. Gullstrand hat 1896 diese Fehlerquelle dadurch umgangen, dass er die verschiedenen Messungen nicht nacheinander, sondern gleichzeitig durch eine einzige optische Einstellung vornahm. Er erreichte dies, indem er die in der Hornhaut entstehenden Spiegelbilder von Objekten bekannter Größe in bekanntem Abstande photographierte und unter dem Mikroskope maß. Als Objekt dienten ihm koncentrische Scheiben bezw. für klinische Bestimmungen viereckige Figuren, die an einer rein sphärischen Fläche als Quadrate gespiegelt werden und deren Deformierung bei Spiegelung an der Hornhaut den Anhaltspunkt für die Ermittelung der Form der letzteren giebt. Ferner ist auch das Ophthalmometer von Blix (1882) zu erwähnen, das wirklich Messungen in einem Punkte ermöglicht; es ist auf ein von Oudemans und Oertling zur Messung der Radien von Linsen angegebenes Prinzip gegründet. Seiner praktischen Anwendung stehen ziemlich große Schwierigkeiten im Wege. Andere Modelle für Ophthalmometer haben Coccius, Mandelstamm, Leroy u. a. angegeben.

§ 19. Bei den früheren Messungen von Helmholtz und seinen Schülern wurde vielfach nur die Krümmung der Hornhaut an einigen wenigen Stellen bestimmt: einmal in der Gegend des Schnittpunktes der Hornhaut mit der Gesichtslinie (d. i. der vom fixierten Punkte zur Fovea ziehenden Geraden), ferner in der Gegend der Hornhautmitte und dann an einigen mehr oder

weniger weit gegen den Hornhautrand gelegenen Punkten. Da man die Radien an peripheren Stellen im allgemeinen etwas größer fand, als in der Hornhautmitte, nahm Helmholtz (wie schon früher Senff) an, dass »die Form der Hornhaut nahehin einem Ellipsoid entspreche, welches durch Umdrehung einer Ellipse um ihre größere Achse erzeugt ist«. »Der Scheitel des Ellipsoids entspricht ungefähr der Mitte der Hornhaut, weicht aber merklich von der Gesichtslinie ab, welche bei allen von mir untersuchten Individuen vom Scheitel aus nach der Nasenseite hin lag.« Doch betonte Helmholtz ausdrücklich, dass ein solcher Ausdruck nur »vorläufig eine große Annäherung giebt«.

Später nahm man für die Form der ganzen Hornhautoberfläche ziemlich allgemein an, dass sie einem Rotationsellipsoid oder einem Ellipsoid mit drei ungleichen Achsen entspreche, je nachdem der Radius des vertikalen Meridians dem des horizontalen gleich oder von ihm verschieden gefunden wurde. Die große Achse dieses Ellipsoids, das man an Stelle der wirklichen Hornhautkrümmung setzen zu dürfen glaubte, wurde mit der Hornhautachse bezw. auch der optischen Achse zusammenfallend angenommen, als welche die Gerade bezeichnet wird, auf der die Krümmungsmittelpunkte der als genau centriert angenommenen brechenden Flächen (Hornhaut, vordere und hintere Linsenfläche) gelegen sind (s. unten).

Bei späteren Messungen wurde die Krümmung der Hornhaut an einer wesentlich größeren Zahl von Stellen bestimmt. Auf diese Weise zeigten zuerst Blix und insbesondere Aubert, dass die Wiedergabe der Hornhautkrümmung durch ein Ellipsoid den Thatsachen nicht genügend entspricht.

Aubert fand mit seinem verbesserten Ophthalmometer, dass die Hornhautoberfläche sich in 2 Zonen teilen lässt, eine ungefähr central gelegene, die angenähert sphärische Krümmung zeigt und für welche er den Namen »optische Zone« vorschlägt, und eine zweite, peripher gelegene »Randzone« von mehr abgeflachter Form. Die Grenze beider wird durch Iris und Pupille bestimmt. Die optische Zone liegt in einer Ausdehnung von 12 bis 16° um die Gesichtslinie. Auch bei weiter Pupille kommt somit nach Aubert für die zur Netzhaut gelangenden Lichtstrahlen nur die optische Zone in Betracht.

Sulzer wurde durch ausgedehnte Messungen bei verschiedenen Blickrichtungen mit dem Javal'schen Instrument zu dem gleichen Ergebnisse bezüglich des Verhaltens der mittleren Hornhautteile geführt. Er fand, dass in einem Winkelabstande von 15° von der Durchschnittsstelle der Gesichtslinie mit der Hornhaut (entsprechend einer linearen Entfernung von etwa 2 mm für eine Hornhaut von mittlerer Krümmung), der Hornhautradius rasch zu wachsen beginnt, und dass diese Krümmungsabnahme weder in den Hauptmeridianen, noch auch entlang den beiden Hälften eines jeden

Hauptmeridians eine gleichmäßige ist. Wenn man (Eriksen) die optische Zone bis zu jenen peripheren Teilen rechnet, deren Brechwert um weniger als 1,0 *D* von dem der centralen Teile abweicht, so hat dieselbe im ganzen einen Durchmesser von ca. 4 mm (entsprechend etwa 30 Winkelgraden), d. i. angenähert 1/3 des gesamten Hornhautdurchmessers, und zwar ist sie nicht genau kreisrund, sondern leicht queroval.

Weiter fand Sulzer, dass in 3/4 aller Fälle die nasalen Hornhautpartien mehr abgeflacht sind, als die temporalen, die oberen mehr als die unteren. Für dieses Fehlen einer Symmetrie in jeder der beiden Hauptebenen schlägt er die Bezeichnung »Dissymmetrie« der Hornhaut vor. Die Stelle stärkster Krümmung liegt in normalen Augen in der Regel nach außen (und ein wenig nach oben oder unten) von der Gesichtslinie: »Decentration der Hornhaut« (Javal).

Sulzer schloss aus seinen Beobachtungen, dass die um mehr als 15° von der Gesichtslinie entfernten Partien der Hornhaut einem Aplanatismus derselben sich nähern, ihn erreichen, oder — in der Nähe des Hornhautrandes — ihn sogar überschreiten. Die Pupille fand er in der Regel nicht koncentrisch zur Gesichtslinie, sondern mehr oder weniger (2—9°, im Mittel ca. 5°) weit temporalwärts gegen sie verlagert, also in der gleichen Richtung, in der die Decentration der Hornhaut statthat, eine Beobachtung, die neuerdings u. a. von Brudzewski bestätigt wurde.

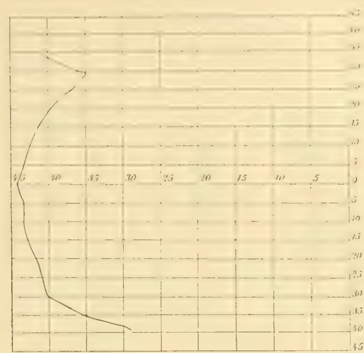
Gullstrand bediente sich, da er Sulzer's ophthalmometrische Messungsmethoden nicht für einwandfrei hielt, seiner schon erwähnten photographischen Methode zur Ermittelung der Form der Hornhaut. Seine Untersuchungen bestätigen in den wesentlichen Punkten die angeführten Ergebnisse Aubert's, Sulzer's und Eriksen's. Die »optische Zone« Aubert's ist im allgemeinen weder im horizontalen noch im vertikalen Meridian auf die Gesichtslinie centriert, sondern nach außen und etwas nach unten von ihr gelegen; es ist weder im vertikalen, noch im horizontalen Meridian eine Symmetrieachse zu finden. Die optische Zone der Hornhaut hat einen größeren horizontalen, einen kleineren vertikalen Durchmesser, die periphere Abflachung beginnt also im vertikalen Meridian näher am Centrum als im horizontalen.

Da die Gullstrand'schen Messungen wohl die genauesten sind, die wir bis jetzt über die Form der Hornhaut besitzen, so sei die graphische Darstellung einer solchen Messung in der von Eriksen angegebenen Diagrammform für eine normale Hornhaut (Fig. 24 und 25) hier wiedergegeben.

Als Abscissen sind die Winkel eingetragen, welche die im Mittelpunkte des gemessenen Flächenelementes errichtete Normale mit der Gesichtslinie einschließt, als Ordinaten die zugehörigen Refraktionswerte in Dioptrien. Die kleinen Unregelmäßigkeiten im Verlaufe der Kurve rühren von den

Fig. 25.

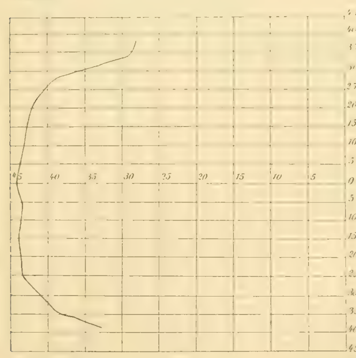
Oben *Vertikaler Meridian*



Unten

Fig. 24.

Nasal *Horizontaler Meridian*



Temporal

durch die Thränenflüssigkeit auf der Hornhautoberfläche bedingten Unebenheiten her, die Abnahme der Abflachung am äußersten Rande kommt von der wulstigen Verdickung der Sklerocornealgrenze (Eriksen).

Wenngleich durch die periphere Abflachung die Möglichkeit eines gewissen Aplanatismus der Cornea gegeben scheint, kommt Gullstrand doch zu dem Schlusse, dass der Teil der Hornhaut, der im allgemeinen zum scharfen Sehen verwendet wird, noch positive sphärische Aberration besitzt.

Die sphärische Aberration für parallel einfallendes Licht berechnet Gullstrand in folgender Weise:

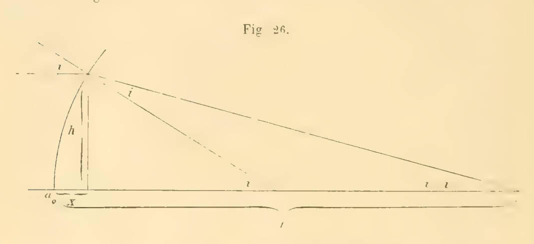


Fig 26.

Für einen gegebenen Punkt der Hornhautfläche ist der Abstand f des Brennpunktes vom Scheitel der Flache, wie aus der Figur ersichtlich $= x + h \cot. (i_{,} - i_{,,})$. Die zur Berechnung nötigen Werte ergeben sich aus den Messungen der photographierten Spiegelbilder; indem die Rechnung fur verschieden weit von a_0 entfernte Punkte durchgeführt wird, ergiebt sich, dass der Wert von f nach allen Richtungen bereits merklich abnimmt, wenn der Winkel zwischen der Normalen des gemessenen Elements und der Gesichtslinie weniger als 10° beträgt. Nur nach oben findet sich fast vollkommene spharische Korrektion, aber in dem Theile der optischen Zone, der für gewohnlich vom oberen Lide gedeckt wird; die Partie der Hornhaut, die gewohnlich bei nicht zu weiter Pupille und nicht zu stark gehobenem Lide zum Sehen verwendet wird, ist mit positiver sphärischer Aberration behaftet.

Die größere Abflachung des vertikalen Meridians und deren Asymmetrie ist Gullstrand geneigt mit dem Liddrucke in Zusammenhang zu bringen, wofür nach ihm auch die Beobachtung an den pathologischen Formen des Keratoconus spricht, bei welchen meist eine ähnliche, nur viel höhergradige Decentration nach unten auftritt. Bezüglich des Einflusses dieser Asymmetrie auf die Form des gebrochenen Strahlenbündels verweise ich auf Abschnitt II und auf § 44.

Die Größe des Hornhautradius in der optischen Zone beträgt nach dem Durchschnitte aus zahlreichen Messungen 7,8 mm (Grenzen etwa 7 und 8,5 mm). Nach Tscherning soll bei großen Menschen mit beträchtlichem

Kopfumfange der Radius etwas größer sein, als bei kleineren. Steiger hat auf einen Zusammenhang zwischen Hornhautradius und Pupillenabstand aufmerksam gemacht: er fand die mittlere Hornhautrefraktion bei einer Pupillendistanz von 56—58 mm = 43,25—43,34 D., bei einer Pupillendistanz von 65—69 mm = 41,95—42,52 D. Bei Knaben betrug im Durchschnitt die Refraktion 42,89 D., bei Mädchen 43,15 D. Schon Donders hatte den Hornhautradius bei Frauen und Kindern kleiner als bei Männern gefunden. Mit dem Alter soll nach Steiger (entgegen einer Angabe von Donders) eine leichte Abflachung der Hornhaut eintreten.

Sulzer hat bei 491 gesunden, emmetropischen Augen die Hornhautrefraktion bestimmt und dieselbe zwischen 30 und 50 Dioptrien schwankend gefunden. Im Mittel betrug sie 43,7 D.; bei 26% der Augen: 44 D., bei 23%: 45 D., bei 20%: 43 D. Als Grenzwerte hatte Donders in astigmatischen Augen Radien von 7,13 bezw. 8,91 mm (entprechend einer Refraktion von 47,19 bezw. 37,76 D.) gefunden. Der kleinste, bisher bekannt gewordene Hornhautradius wurde von Mauthner beobachtet, der in einem Auge einen solchen von 6,33 mm (entsprechend 53,16 D für $n = 1,3365$) fand. (Weiteres über die Hornhautkrümmung bei Refraktionsanomalien vgl. § 141.)

§ 20. Zur Ermittelung der Brechkraft der Hornhautvorderfläche müssen wir außer deren Radius noch den Brechungsindex der Cornea kennen. Man bedient sich zu dessen Bestimmung, ebenso wie für die übrigen brechenden Medien des Auges, heute fast ausschließlich des zuerst von Wollaston angegebenen, auf dem Gesetz der Totalreflexion beruhenden Verfahrens und zwar in der Form des auch bei sehr kleinen Mengen der untersuchten Substanz leicht zu handhabenden Abbe'schen Refraktometers (1872), bei welchem der Winkel der totalen Reflexion zwischen Glas und der zu untersuchenden Flüssigkeit im durchfallenden Lichte aus dem Eintritte der minimalen Intensität des durchgehenden Strahles bestimmt wird.

Die früher viel benutzte Methode von Chossat und Brewster, wobei die zu untersuchende Substanz in die Form einer Konkavlinse von bekannter Krümmung gebracht und der Bildabstand eines in bekanntem Abstande befindlichen Objektes gemessen wurde, wenn der Raum der Konkavlinse das eine Mal mit Luft, das andere Mal mit Wasser, das dritte Mal mit der zu untersuchenden Masse gefüllt war, kann sich mit der Abbe'schen Messungsweise an Genauigkeit nicht vergleichen. So fand z. B. Chossat den Index der Hornhaut = 1,33, also kleiner als den des Wassers. W. Krause bestimmte später den Hornhautindex im Mittel zu 1,3507.

Die ersten Messungen mit dem Abbe'schen Apparate wurden von Matthiessen und Aubert an den Hornhäuten eines 50jährigen Mannes und eines 2 Tage alten Kindes vorgenommen. (Die Werte beziehen sich stets auf die Linie D des Spektrums. Es ergab sich ein Wert von 1,377 bezw. 1,3721, wenn der Index des destillierten Wassers 1,331 war. Bei späteren

Untersuchungen fand Matthiessen als Mittel aus zahlreichen Einzelbeobachtungen einen Index von 1,3763.

Auf ganz anderem Wege hat Lohnstein neuerdings den fraglichen Index ermittelt. Er geht von dem durch Untersuchungen von Gladstone, Landolt u. a. festgestellten Satze aus, dass man bei bekannter Zusammensetzung eines Körpers, falls er durchsichtig ist, seinen Brechungsindex berechnen und, falls er mit einem anderen Körper zusammen eine durchsichtige Substanz bildet, seinen Einfluss auf den Brechungsexponenten dieser Substanz feststellen kann. Er berechnet die Dichtigkeit der Hornhaut, indem er sie als eine 23 prozentige Eiweißlösung in einer 1 prozentigen Kochsalzlösung auffasst und den von ihm für alkalische Eiweißlösungen gefundenen Dichtigkeitskoeffizienten verwendet. Seine Berechnung führt ihn zu dem Brechungsindex 1,3739, der also zwischen den von Matthiessen und Aubert gefundenen Zahlen liegt.

Aus den vorstehenden Werten ergiebt sich die Brechkraft der Hornhautvorderfläche $D = \frac{n-1}{r}$, wenn wir $n = 1,376$ setzen:

für einen Radius	= 7,0 mm	: $D = 53,71$
»	= 7,5 »	: $D = 50,13$
für den Mittelwert	= 7,7 »	: $D = 48,83$
» einen Radius	= 8,0 »	: $D = 47,00$
» »	= 8,5 »	: $D = 44,24$.

Innerhalb der Grenzen für die an normalen Augen vorkommenden Werte von r entspricht also einer Änderung des Radius um 0,1 mm eine Änderung der Brechkraft der Hornhaut um etwa 0,6 Dioptrien.

Die am häufigsten vorkommenden Werte für r liegen zwischen 7,5 und 8 mm; der mittlere Brechwert der Hornhaut kann also = 47 bis 50 Dioptrien gesetzt werden. Bei gleichbleibendem Radius entspricht einer Änderung des Index der Hornhaut um 0,01 eine Änderung des Brechwertes um ca. 1,25 D. Ob solche Indexänderungen überhaupt in nennenswertem Umfange vorkommen, ist bisher nicht bekannt. Eine klinische Bedeutung dürfte ihnen kaum zukommen.

§ 21. Um die Gesamtbrechkraft der Hornhaut kennen zu lernen, ist ferner ihre Dicke und der Krümmungsradius ihrer Hinterfläche zu ermitteln.

Die Dicke der Hornhaut beträgt nach älteren Messungen von Krause (citiert nach Helmholtz in den mittleren Teilen durchschnittlich 0,45 mm, am Rande durchschnittlich 0,54 mm. Helmholtz fand an einem Leichenauge in der Mitte eine Dicke von 1,37 mm, am Rande 1,55 mm, gleichweit von Mitte und Rand 1,39 mm. Tscherning nimmt am lebenden

Auge im Scheitel eine Hornhautdicke von 1,15 mm an, nach Messungen mit dem Ophthalmophakometer).

Weitere ophthalmometrische Messungen hat Blix vorgenommen, indem er 2 Mikroskope unter sehr spitzem Winkel auf dieselbe Stelle der Hornhaut einstellte, in einem Mikroskope das Okular entfernte und in der Bildebene des Objektivs einen leuchtenden Spalt anbrachte. Die Lage des Reflexbildes dieses Spaltes an der Hornhaut-Vorder- und -Hinterfläche wurde mit dem zweiten Mikroskope bestimmt. Blix fand so für die Dicke der Hornhaut auffallend geringe Werte: 0,482 bis 0,668 mm.

Für den Radius der hinteren Hornhautfläche hat Tscherning bei Untersuchung des Spiegelbildes mit seinem Ophthalmophakometer in einem Falle einen Wert von 6,22 mm gefunden.

Hieraus berechnen wir zunächst die Brechkraft der hinteren Hornhautfläche:

$$D_{,,} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r} = \frac{-0,04}{0,00622} = -6,43 \text{ Dioptrien}; \quad F_{,} = -214 \text{ mm}$$

$$F_{,,} = \frac{n_{,,}}{D_{,,}} = -208 \text{ mm};$$

da $\delta = \frac{d}{n} = \frac{1}{1,376}$, wenn die Dicke der Hornhaut = 1 mm gesetzt wird, so wird die Gesamtbrechkraft der Cornea

$$D = 47 - 6,43 + 0,2197 = 40,788 \text{ Dioptrien}.$$

$$F_{,} = \frac{n_{,}}{D} = 24,52 \text{ mm}; \; F_{,,} = 32,77 \text{ mm}.$$

Wäre die Hornhaut beiderseits von Luft begrenzt, so wäre ihre Brechkraft etwa = — 10 bis — 11 Dioptrien, sie würde also wie eine starke Konkavlinse wirken.

Für viele Berechnungen kann man den (ziemlich geringfügigen) Unterschied zwischen Brechungsindex von Hornhaut und Kammerwasser vernachlässigen und annehmen, dass von der vorderen Hornhautfläche an nach hinten sich eine gleichmäßige Masse vom Index des Kammerwassers erstrecke, also an der hinteren Hornhautfläche keine Brechung erfolge[1]. Setzt man diesen = 1,3365, so findet man die Brechkraft der Hornhaut unter obigen Voraussetzungen $D = 43,7$ Dioptrien, $F_{,} = 22,88$ mm, $F_{,,} = 30,58$ mm.

Bezüglich der Indices der flüssigen Medien des Auges, Kammerwasser und Glaskörper, haben die mit dem Abbe'schen Instrument von Fleischer (1872), Hirschberg (1874) u. a. ermittelten Werte gut übereinstimmende Ergebnisse geliefert. Bei ganz frischen Augen fand Hirschberg im Mittel für das Kammerwasser 1,337 (1,33705 bis 1,3379), für den Glaskörper

1,336 (1,33541 bis 1,3379). Nach MATTHIESSEN ist der Kammerwasserindex um 0,0003 größer, als der des Glaskörpers.

§ 22. Zur Ermittelung der Tiefe der vorderen Kammer sind meist folgende Methoden benutzt worden:

1. Methode von HELMHOLTZ: Das durch Spiegelung an der Hornhaut entstehende Bild eines weit entfernten leuchtenden Punktes liegt etwas hinter der Pupillenebene, wie man an der perspektivischen Verschiebung des Bildpunktes gegen diese Ebene erkennen kann, wenn man in verschiedenen Richtungen ins Auge sieht. HELMHOLTZ bestimmte die scheinbare Lage der Iris im Verhältnis zur scheinbaren Lage des gespiegelten Punktes; da mit dem Radius der Hornhaut der Ort des gespiegelten Punktes bekannt ist, so erhält man auf diese Weise die scheinbare Lage der Pupille hinter der Hornhaut.

2. Methode von DONDERS: Ein kleines, leicht bewegliches Fernrohr ist mit einem Zeiger derart verbunden, dass die Bewegungen des ersteren an einer Skala direkt abgelesen werden können. Das Fernrohr wird erst auf die (etwa mit Calomel bepuderte) Hornhautoberfläche, dann auf den Pupillenrand eingestellt. Aus dem Werte der Verschiebung ermittelt sich die Tiefe der Kammer. Das Verfahren ist von DONDERS, HORSTMANN und neuerdings von PLANTENGA (1898) benutzt worden.

3. Methode von SCHÖLER und MANDELSTAMM (ausführlich beschrieben von REICH): Durch eine vor der Hornhaut des untersuchten Auges verschiebbar angebrachte Sammellinse werden die an einer passend gestellten Glasplatte reflektierten Strahlen einer entfernten Lichtquelle so gesammelt, dass das Hornhautspiegelbild derselben genau mit der Ebene des Pupillenrandes zusammenfällt. Mittels des Hornhautmikroskopes wird erst am untersuchten Auge auf diese Ebene eingestellt und nach Entfernung des Beobachteten deren Abstand gemessen. Damit ist die Entfernung der scheinbaren Pupillenebene von der Hornhaut gegeben, deren Radius mit dem gleichen Instrumente gemessen werden kann.

4. TSCHERNING hat auch zur Messung der scheinbaren Tiefe der vorderen Kammer sein Ophthalmophakometer benutzt. Dieses besteht aus einem kleinen Fernrohre, um dessen Achse ein Metallbogen von 76 cm Radius drehbar ist; auf dem Bogen sind mehrere Glühlampen verschieblich angebracht.

5. In sinnreicher Weise hat kürzlich HEGG (1901) die Kammertiefe mittels eines »stereoskopischen Ophthalmometers« gemessen: An einem Mittelding zwischen terrestrischem Fernrohr und Binocularmikroskop mit Bildaufrichtung sind zwischen Objektiv und Ocular an passender Stelle auf Glasplatten 2 Punktpaare angebracht, deren jedes binocular zu verschmelzen ist. Jeder der Punkte kann für sich seitlich messbar verschoben werden

und durch diese Änderung der Querdisparation lässt sich den betreffenden Sammelbildern leicht jede beliebige scheinbare Lage im Bildraume geben. Indem man sie einmal an die Stelle des Hornhautspiegelbildes, ein anderes Mal in die Pupillenebene bringt, lässt sich aus der dazu nötigen Änderung der Querdisparation der gesuchte Abstand ermitteln.

Alle diese Methoden geben zunächst nur die durch das brechende System der Hornhaut bedingte *scheinbare* Lage der Pupille. Ihre wirkliche Lage, also die wahre Tiefe der vorderen Kammer erhalten wir z. B. aus der Formel $B = A + D$ (unter Berücksichtigung der Richtung, in der die Strecken positiv genommen werden, ist für diesen Fall b negativ zu nehmen). Ist der scheinbare Ort der Pupille z. B. = 3,03 mm hinter dem Hornhautscheitel, so ist $B = -330$, und wenn $D = 42$, so wird $A = 372$, daher der wirkliche Ort der Pupille $a = \frac{n'}{A} = 3,6$ mm (hinter dem Hornhautscheitel). Die *Größe* der wirklichen im Vergleich zur scheinbaren Pupille ergiebt sich z. B. aus der Formel $A\alpha = B\beta$. Ist der scheinbare Pupillendurchmesser $\beta = 4,5$ mm, so ist $\alpha = 4,0$ mm.

Durch die Hornhaut wird also unter obiger Voraussetzung ein Bild von der Pupille entworfen, das um ca. 0,57 mm nach vorn von der wirklichen Pupille liegt und um ca. $^1/_8$ vergrößert ist.

Die für den Abstand der Pupillenebene vom Hornhautscheitel gefundenen Werte sind folgende:

Helmholtz:	4,024; 3,597; 3,739 mm
Knapp:	3,692; 3,707; 3,477; 3,579 mm
Adamük und Woinow:	3,998; 3,237; 2,900; 3,633 mm
Schöler-Mandelstamm:	3,9212; 3,651 mm
Reich:	3,639; 3,708; 3,6516 mm.

Zu ähnlichen Werten kam Donders. Horstmann, der mit dem Donders'schen Instrumente arbeitete, fand an 41 Augen Werte zwischen 2,68 und 3,67, im Mittel 3,19 mm, und zwar bei 19 emmetropischen Augen einen Mittelwert von 3,066 mm, bei 13 kurzsichtigen einen solchen von 3,266 mm, bei 9 übersichtigen einen solchen von 3,009 mm.

Messungen mit dem Ophthalmophakometer ergaben entsprechende Werte (Tscherning: 3,54 mm, Stadfeldt 3,37 bis 4,09 mm, im Mittel 3,81 mm). Plantenga fand (1898) als Durchschnitt bei Emmetropie: 3,036 mm, bei Kurzsichtigkeit 3,267, bei Übersichtigkeit 2,865 mm. Messungen an Augen in verschiedenen Lebensaltern ergaben als Durchschnittszahl für jugendliche Augen 3,036 mm, zwischen 40 und 50 Jahren 2,9 mm, bei Greisen 2,61 mm.

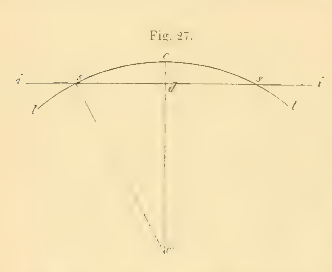
Der Einfluss, den ein Wechsel im Abstande des vorderen Linsenscheitels vom Hornhautscheitel bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen auf

die Gesamtrefraktion des Auges hat, ergiebt sich, wenn man den betreffenden Wert von δ bei Zusammensetzung der Systeme Hornhaut und Linse entsprechend variiert; im schematischen Auge entspricht einer Verschiebung der Linse um 0,1 mm gegen die Hornhaut eine Erhöhung der Gesamtrefraktion des Auges um ca. 0,08 Dioptrien.

Die angeführten Zahlen geben den Abstand der Pupillenebene vom Hornhautscheitel. Da aber für die fraglichen Berechnungen die Entfernung des vorderen Linsenscheitels von dem Hornhautscheitel zu bestimmen ist, so muss von diesem Werte die Größe abgezogen werden, um welche der Scheitel der Linse aus der Pupillenebene in die Kammer vorragt.

Diese lässt sich aus der Linsenkrümmung und dem Durchmesser der Pupille berechnen unter der Annahme, dass der Pupillarrand der Linse dicht anliegt. Ist ii die Iris, ll die Krümmung der Linse, ss die Pupille, $sc_1 = cc_1$ der Radius der Linsenkrümmung ($= r$), so ist $cd = z$ das Stück, um welches die Linse den Pupillarrand überragt.

Fig. 27.



Bezeichnet p den Pupillenhalbmesser sd, so ist $(r - z)^2 = r^2 - p^2$, also $z = r - \sqrt{r^2 - p^2}$. Dieser Wert schwankt also mit der Weite der Pupille; er beträgt bei mittleren Pupillenweiten etwa 0,15—0,266 mm, im Mittel 0,2 mm und kann im allgemeinen vernachlässigt werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Iris am Pupillenrande eine gewisse Dicke besitzt und dass man bei den Messungen nicht auf den der Linse unmittelbar anliegenden Teil, sondern auf die etwas mehr nach vorn gelegene Irisvorderfläche einstellt. Die Größe der Linsenvorwölbung ist also thatsächlich noch um diesen Betrag kleiner.

§ 23. Die ersten Messungen der Krümmung der Linsenflächen rühren von Peiresc her. Petit 1730 suchte diese ebenso wie die der Hornhaut zu messen, indem er aus Kupferplatten Bogen von verschiedenen Radien ausschnitt und ermittelte, welcher Bogen sich am besten der Linsenkrümmung anpasste. Er fand so, dass der Radius der vorderen Linsenfläche während des ganzen Lebens allmählich größer werde von ca. 6—8 mm im 12.—30. Jahre bis zu ca. 9 bis 11 mm im 60.—65. Jahre. C. Krause 1834 bestimmte mit schwacher Vergrößerung die Krümmung an den Linsen durchschnittener und unter Wasser gelegter Augen. Treviranus, Sömmering u. a. berechneten die Linsenkrümmung aus ihrem Durchmesser und dessen Abstand von der brechenden Fläche.

v. Helmholtz maß zuerst den Radius der vorderen Linsenfläche am lebenden Auge mittels des Ophthalmometers; er ging dabei in folgender Weise vor: Zwei leuchtende Objekte befinden sich in gleichem Abstande vom untersuchten Auge; das eine hat konstante Größe, die Größe des zweiten kann variiert werden. Man beobachtet die durch Spiegelung an der Hornhaut und an der vorderen Linsenfläche entstehenden Bilder und variiert die Größe des Hornhautspiegelbildes so lange, bis sie gleich der des Linsenspiegelbildes ist. Als Objekt dient je ein leuchtender Punkt, von welchem durch einen vor dem untersuchten Auge horizontal angebrachten Spiegel ein Spiegelbild entworfen wird. An der Hornhaut und an der Linsenvorderfläche kommen dann von jedem Punkte 2 Reflexbilder zustande, deren gegenseitiger Abstand die Größe des Bildes darstellt. Die Objektgröße wird variiert, indem der eine der beiden leuchtenden Punkte gehoben oder gesenkt und dadurch der gegenseitige Abstand der gespiegelten Lichtpunkte geändert wird. Bei genügend großem Objektabstande kann man den Bildabstand gleich der Brennweite setzen, die gleich dem halben Radius ist. Die Brennweiten spiegelnder Systeme verhalten sich bei gleichem Objektabstande umgekehrt, wie die Größen der Objekte. Bezeichnet q die Brennweite des durch die Linsenvorderfläche dargestellten Konvexspiegels, $\frac{r}{2}$ die Brennweite der Hornhautoberfläche, $a_{,}$ und $a_{,,}$ die Größe des an der Hornhaut bezw. der Linse gespiegelten Objektes, so ist $q : \frac{r}{2} = a_{,} : a_{,,}$; $r, a_{,}, a_{,,}$ werden durch Messung gefunden.

Ist auf diese Weise die scheinbare Brennweite, d. i. der scheinbare Abstand des Brennpunktes vom scheinbaren Scheitel der Linsenvorderfläche bestimmt, so kann daraus die wirkliche Brennweite gefunden werden, indem man in ähnlicher Weise wie oben, bei Ermittelung der wirklichen Pupillenlage, den Einfluss der brechenden Flächen in Rechnung zieht.

Helmholtz leitet für die Beziehungen zwischen scheinbarer Brennweite und dem wahren Radius folgende Formel ab: Phys. Optik II. Aufl. p. 144):
$r = \frac{q(f_{,,} - d)^2}{2 f_{,} f_{,,} - q(f_{,,} - d)}$, worin r der gesuchte Radius (positiv für konkave, negativ für konvexe Flächen), q die scheinbare Brennweite, $f_{,}$ und $f_{,,}$ die vordere bezw. hintere Brennweite der Hornhaut und d der Abstand der spiegelnden Fläche vom zweiten Hauptpunkte des brechenden Systems ist. In nebenstehender Tabelle sind die wesentlichsten Ergebnisse der einschlagigen Messungen der Radien der Linsenvorderflache mit dem Ophthalmometer zusammengestellt:

Helmholtz: 11,9; 8,8; 10,4 mm;
Knapp (mit ähnlicher Methode): 8,2972; 7,9459; 7,8600; 9,064 mm;
Rosow: 9,8243 mm;
Mandelstamm, Schöler: 10,5409; 10,159 mm;
Reich: 10,408; 10,565; 11,197 mm;
Woinow: 9,3785; 8,9452; 10,2091; 12,5804; 9,0017 mm;
Adamük und Woinow: 9,7775; 10,202; 9,1139; 10,54 mm;
Berlin: 9,931 mm;

v. Reuss:	Hypermetropie	3 Augen	10,89 bis 12,41,	im Mittel	11,76 mm
	Emmetropie	(6 Augen)	9,37 » 11,84,	»	10,8 »
	Myopie	(12 Augen)	9,61 » 14,66,	» »	12,69 »

Die Zahlen von v. Reuss, der zu seinen Messungen Drummond'sches Kalklicht benutzte, sind also durchweg höher als die anderen; von Interesse sind die großen bei Myopie gefundenen Radien. Der Minimalwert 9,61 kam nur einmal vor, während alle übrigen Zahlen 12 mm überstiegen.

Messungen der Krümmung der Linse im senkrechten und im wagerechten Hauptmeridian liegen vor von Strawbridge und von Tscherning

	horizontal	vertikal
Strawbridge fand:	10,761 mm,	11,143 mm,
	9,8506 »	11,043
Tscherning	10,2 »	10,10
	12,26 »	10,09
	10,42 »	9,33

Neuere Messungen mit dem Ophthalmophakometer hat Stadfeldt veröffentlicht. Er findet für den Radius der Linsenvorderfläche Werte zwischen 9,47 und 11,91, als Mittelwert aus 10 Messungen 10,95 mm.

Die Messungen an toten Augen können begreiflicherweise nicht den gleichen Grad von Zuverlässigkeit haben, wie die an lebenden, da die Linse, wenigstens in der Jugend, so weich ist, dass ihre Gestalt sich schon bei sehr geringen von außen wirkenden Kräften merklich ändern kann. Helmholtz fand an 2 toten Linsen einen Radius von 10,162 bezw. 8,865 mm. Bertin-Sans giebt an, dass die Linse nach dem Tode schon in wenigen Stunden merklich dicker werde, auch wenn sie in Glaskörper liege; entsprechend sollen ihre Krümmungsradien nach dem Tode rasch abnehmen und einander immer ähnlicher werden. Er fand bei einer Kuh unmittelbar nach dem Tode die Radien der beiden Flächen = 15,2 bezw. 10,5 mm, einige Stunden später 12,1 bezw. 11,0 mm. Heine dagegen fand bei skiaskopischer Untersuchung menschlicher Augen noch 12 Stunden nach dem Tode die Refraktion unverändert und so, wie kurz vor dem

Tode. Auch HEINE's Wägungen toter Linsen stehen mit den erwähnten Angaben nicht in Einklang. (Alle hier angeführten Werte beziehen sich auf die Radien in der Umgebung des vorderen Linsenscheitels, also im Pupillargebiete.)

§ 24. Auch bezüglich der Ermittelung des Radius der hinteren Linsenfläche am lebenden Auge kann man so verfahren, dass man zunächst die scheinbare Lage des von ihr entworfenen Spiegelbildes eines entfernten, leuchtenden Objektes aufsucht und daraus die wahre Lage berechnet unter Berücksichtigung des Umstandes, dass dieses Bild durch die beiden brechenden Medien Hornhaut und Linse gesehen wird; das Verfahren ist dem für die vordere Linsenfläche angegebenen analog.

Will man die Brechkraft des ganzen Systems (also D_{15}) berechnen, so ist nur zu berücksichtigen, dass $D_{,} = D_{,,,,,}$, $D_{,,} = D_{,,,,}$ und dass $D_{,,,} = \frac{-2\, n_{,,,}}{-r_{,,,}}$ ist. ($n_{,,,}$ = Index der Linse, $r_{,,,}$ = Radius der hinteren Linsenfläche.)

Hinsichtlich des Verfahrens zur Auffindung des scheinbaren Ortes des hinteren Linsenbildchens verweise ich auf die bezüglichen Darstellungen von HELMHOLTZ. TSCHERNING benutzte sein Ophthalmophakometer zu einer der HELMHOLTZ'schen im wesentlichen ähnlichen Messungsmethode.

Die so gefundenen Werte für den Radius der Hinterfläche der Linse sind in der nebenstehenden Tabelle wiedergegeben:

HELMHOLTZ:		5,83, 5,13, 5,37 mm;
KNAPP:		5,3546, 5,4867, 6,9012, 6,4988 mm;
ROSOW:		6,1249 mm;
MANDELSTAMM und SCHÖLER:		6,4881, 6,496 mm;
REICH:		6,5875, 5,5373, 6,2229 mm;
WOINOW:		6,2480, 7,1746, 6,4318, 8,0013, 7,1905 mm;
v. REUSS:	bei Hypermetropie:	6,74 bis 8,65, im Mittel 7,85 mm;
	» Emmetropie:	7,11 » 9,45, » » 8,21 »
	» Myopie:	7,06 » 11,33, » » 9,05 »
BERLIN:		5,797 mm;
ADAMUK und WOINOW:		6,0635, 6,2156, 7,6008, 6,5331 mm;
TSCHERNING:	horizont. Merid.	6,17, 6,38, 6,73 mm;
	vertik. Merid.	6,24, 7,11, 8,19 mm;
STRAWBRIDGE:	horizont. Merid.	5,7015, 5,302 mm;
	vertik. Merid.	5,3591, 5,3227 mm;
STADFELDT:		5,64 bis 6,5; Mittel 5,99.

Die Mehrzahl der gefundenen Werte steht somit dem von HELMHOLTZ ursprünglich angenommenen Mittelwerte (= 6 mm) sehr nahe, (mit einziger Ausnahme der viel größeren v. REUSS'schen Zahlen).

§ 25. Mit dem Orte des vorderen und hinteren Linsenscheitels ist auch die Dicke der Linse ermittelt. Die ophthalmometrischen Messungen ergeben fast durchweg etwas geringere Werte, als die Messungen der Linsendicke im Leichenauge. Die ophthalmometrisch gefundenen Werte sind folgende:

Helmholtz:	3,414, 3,801, 3,555 mm;
Knapp:	3,9203, 3,8495, 3,7760, 3,6225 mm;
Adamük und Woinow:	3,2019, 3,9627, 3,9438, 3,5668 mm;
Woinow:	3,0717, 3,0247, 3,386, 3,5825, 3,6108 mm;
Berlin:	4,433 mm;
Mandelstamm und Schöler:	3,8693, 3,5828 mm;
Reich:	3,993, 3,708, 3,781 mm;
v. Reuss	3,5 bis 4,19 mm;
Tscherning:	4,06, 3,96, 4,25 mm;
Stadfeldt:	3,31 bis 4,15, Mittel aus 10 Messungen 3,63 mm.

In toten Augen fand Helmholtz die Linsendicke = 4,2 und 4,3 mm; Krause = 4,05 bis 5,4 mm. Wenn bei jugendlichen Linsen, die in hohem Maße einer Gestaltsveränderung fähig sind und bei Entspannung der Zonula bis zu einem gewissen Grade der Kugelgestalt zustreben, in dem letzteren Umstande eine Erklärung für diese verhältnismäßig großen Werte gefunden werden kann, so gilt ein gleiches nicht auch für die harten Linsen alter Leute. Hier aber hat Priestley Smith, dem wir so sorgfältige Untersuchungen über das Wachstum der Linse während des Lebens verdanken, für den Linsendurchmesser im Leichenauge Werte von 6,0 bis 6,5 mm gefunden. Die meisten derartigen Messungen werden an konservierten Linsen vorgenommen; wir kennen aber bis jetzt noch keine Konservierungsflüssigkeit, die eine Erhaltung der ursprünglichen Dimensionen der Linse auch nur einigermaßen garantiert.

§ 26. Die Zuverlässigkeit der ophthalmometrischen Linsenmessungen am Lebenden wird etwas beeinträchtigt durch den geschichteten Bau der Linse. Diese kann bekanntlich vom optischen Standpunkte, aus einer großen Zahl angenähert koncentrisch um den Linsenkern gelagerter Schichten zusammengesetzt gedacht werden, deren Brechungsindex von Schichte zu Schichte wechselt. Wir bezeichnen die Indices der einzelnen Schichten als die Partialindices der Linse; von ihnen zu unterscheiden ist der imaginäre oder Totalindex, d. i. der Index einer fingierten homogenen Linse von gleicher Form und gleicher Brechkraft wie die wirkliche.

Die Kenntnis dieses letzteren ist für die Dioptrik des Auges von großer Bedeutung. Zu seiner Ermittelung sind bisher im wesentlichen 3 Methoden angewendet worden:

1. Thomas Young, Senff, Peschel, Stadfeldt u. a. maßen direkt den Abstand des Brennpunktes einer in Luft oder Glaskörper befindlichen Linse von der dem Brennpunkte zugewendeten Linsenfläche unter dem Mikroskop.

2. Helmholtz maß die Größe der von einer Linse (in Luft oder Glaskörper) entworfenen Bilder von Objekten und bestimmte daraus ihre Kardinalpunkte.

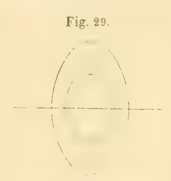
3. Young, Senff, Zehender, Matthiessen und Moennich bestimmten die Brechungsindices verschiedener Schichten der Linse und suchten daraus durch Rechnung den Totalindex zu ermitteln. Diese Methode ist insbesondere durch Matthiessen eingehend mathematisch entwickelt worden.

In ganz anderer Weise hat Berlin den Totalindex der Linse zu ermitteln gesucht: er bestimmt den Ort des hinteren Linsenbildchens zunächst in gemischtem, weißem Lichte und dann in homogenem, rotem Lichte; die Differenz beider Werte wird der Berechnung zu Grunde gelegt. In letzter Zeit hat Stadfeldt (1899) wieder die Methode der direkten Bestimmung der Linsenbrennweite angewendet und ist zu fast den gleichen Werten gekommen wie Matthiessen.

Thomas Young hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass eine Linse, deren Kernpartien optisch dichter sind als die Rindenpartien, größere Brechkraft besitzt, als eine gleich gestaltete, aber nur aus Kernmasse bestehende Linse, d. h. der Totalindex der Linse übertrifft noch den Index der am stärksten brechenden Kernpartien.

Unabhängig von Young haben Senff, v. Zehender und in etwas anderer Weise Helmholtz diese Thatsache theoretisch und experimentell begründet. Man pflegt sie (Hermann) in der Weise zu veranschaulichen (Fig. 29), dass man sich um den angenähert kugligen Kern 2 die Rindenschichten darstellende Schalen gelegt denkt, die an den Rändern dicker (oder wenigstens nicht dünner) sind, als in den mittleren Teilen, daher als Zerstreuungslinsen wirken und die Brechkraft des Kernes vermindern. Je mehr der Index der Rindenschichten zunimmt, desto größer wird deren zerstreuende Kraft, desto geringer also die Gesamtbrechkraft der Linse; sie wird am geringsten, wenn die Rinde den gleichen Index wie der Kern erlangt hat, also die ganze Linse optisch gleich dicht geworden ist. Die erworbene Hypermetropie im höheren Alter ist nach Donders wesentlich auf eine solche Indexzunahme der Rindenpartien im Alter zurückzuführen[1]. Daraus folgt dann, dass eine homogene Linse von gleicher Brechkraft und gleicher Krümmung wie die jugendliche, geschichtete menschliche Linse einen höheren Index haben muss, als der Kern der letzteren.

Fig. 29.



Helmholtz geht bei seiner Erklärung des Einflusses der Linsenschichtung von der Thatsache aus, dass man unendlich dünne, durch koncentrische Kugelflächen begrenzte Schichten eines beliebigen brechenden Mediums an beliebiger Stelle eines optischen Systems einschalten kann, ohne an dessen Brechung etwas zu ändern. So kann man die verschiedenen Lagen der Rindenschichten der Linse je voneinander getrennt denken durch eine Lage von Kernsubstanz. Diese Rindenschichten, die, in einem dünneren Medium gelegen, das Licht zerstreuen, wirken hier, da sie in ein Medium mit höherem Index eingelagert sind, lichtsammelnd: die Strahlen werden daher konvergenter zur Hinterfläche kommen und früher vereinigt, als in einer homogenen Linse. Ferner hat Helmholtz gezeigt, dass in einer solchen geschichteten Linse die Entfernung der Hauptpunkte voneinander kleiner ist, als in einer gleichgeformten Linse mit dem Brechungsindex des Kernes).

Ich stelle zunächst einige Werte für die Indices der verschiedenen Schichten der Linse zusammen; die neueren Werte sind alle mit dem Abbe'schen Refraktometer gewonnen, der bei sehr einfacher Handhabung wesentlich genauere Ergebnisse liefert, als die früheren Methoden. Von den älteren Messungen werden die Krause'schen von Mönnich als durchaus unzuverlässig verworfen.)

	Linsenkapsel	Äußere	Mittlere	Kernschichte
Chossat:		1,338	1,395	1,420
Brewster:		1,3767	1,3786	1,3896
Krause: (Mittelwerte)		1,4053	1,4294	1,4541
Helmholtz:		1,4189		
Woinow:		1,3968	1,4215	1,4351
Aubert und Matthiessen:	1,3800	1,3903	1,4077	1,4207
Heine: (Mittelwerte)				
1. bei jüngeren Leuten		1,39–1,395		1,408–1,410
2. bei alten Leuten		1,395—1,405		1,410

§ 27. Die graphische Verzeichnung der Zunahme des Brechungsindex von der Rinde nach dem Kerne zu ergiebt die sogenannte Indicialkurve (Matthiessen). Der Index wächst von der äußersten Schicht kernwärts erst rasch, dann langsamer, die Kurve stellt also den Scheitel einer Parabel dar: diese hat nach Matthiessen die Gleichung $n = n_1 \left(1 + \zeta \frac{b^2 - y^2}{b^2}\right)$; n_1 bedeutet den Index der äußersten Kortikalschicht, b ihren Abstand vom Kerncentrum, y den Abstand einer Schicht auf der untersuchten Achse vom Centrum und ζ eine Konstante »Increment«, welche die Beziehungen zwischen den Indices der Rinde n_1 und des Kerncentrums n_m ausdrückt, derart, dass $n_m = n_1 (1 + \zeta)$. Für das menschliche Auge ist $\zeta = 0{,}0186$.

Unter der Voraussetzung, dass die verschiedenen Schichten der Linse koncentrisch um den Kern liegen, also ihre Radien dem Mittelpunktsabstande proportional sind, lautet die Formel für die Indices einer in Kortikalsubstanz befindlichen Linse $n = n_1 \left(1 + \zeta \frac{r_1^2 - r^2}{r_1^2}\right)$, wenn r den Radius der gemessenen Schicht, r_1 den Radius der zugehörigen Linsenkapsel bedeutet.

Den Beweis für die Behauptung, dass die Indicialkurve ein derartiger Parabelscheitel ist, hat Matthiessen auf 5 verschiedenen Wegen erbracht; neben den direkten Messungen hat er u. a. quellbare Substanzen untersucht, die in ähnlicher Weise, wie es bei der Linse der Fall ist, einen von Schicht zu Schicht kontinuirlich wechselnden Index zeigen, und hat auch bei diesen gleiches optisches Verhalten gefunden. Da für solche Systeme die Gauss'schen Abbildungsgleichungen nicht ausreichten, entwickelte Matthiessen auf Grund dioptrischer Differentialgleichungen, die aus den bekannten Gesetzen hergeleitet wurden, die Theorie des Strahlenganges in solchen geschichteten Systemen mit kontinuierlich variabler Dichtigkeit. Für den Totalindex erhält Matthiessen die Formel:

$$n = n_1 \left(1 + 2\zeta + \frac{4}{3}\zeta^2 \frac{b_1 + b_2}{r_1 + r_2}\right),$$

worin b_1 und b_2 den Abstand der äußersten Kortikalschicht der Vorder- bezw. der Hinterfläche der Linse vom Kerncentrum, n_1 ihren Index und r_1 bezw. r_2 die zugehörigen Radien bedeuten.

Die Ermittelung des Totalindex könnte in der Weise geschehen, dass man mit dem Abbe'schen Apparate zuerst die Partialindices für eine Reihe verschieden weit vom Kern entfernter Schichten bestimmt und daraus unter wiederholter Anwendung der bekannten Formeln die Kardinalpunkte des zusammengesetzten Systems und aus ihnen den Totalindex berechnete. Eine solche Rechnung ist sehr umständlich und würde zur Erzielung genauerer Werte die Messung sehr vieler Schichten erfordern. Matthiessen hat sie für eine akkommodierte Linse durchgeführt, für die er die Radien der einzelnen Flächen ihren Abständen vom Mittelpunkte proportional setzte und in welcher der Index für den Kern und für 3 um ihn gelegene Schalen, also im ganzen für 7 Punkte der Linsenachse bestimmt war; er fand so einen Totalindex von 1,4548.

Mittels der Matthiessen'schen dioptrischen Integrale lässt sich der Totalindex in sehr viel einfacherer Weise berechnen. Die Ergebnisse stimmen mit den nach anderen Methoden ermittelten Werten gut überein. Handelt es sich nicht um sehr genaue Werte, so lässt sich das Matthiessen'sche Gesetz für die Beziehungen zwischen Totalindex und Partialindices in folgende Fassung bringen: Der Totalindex der Linse übertrifft den Kernindex

um ebenso viel, wie dieser den Index der Rinde übertrifft.« MATTHIESSEN fand so einen Totalindex 1,4384; (in späteren Arbeiten 1,4371); auch HELMHOLTZ ist für sein neueres schematisches Auge zu dem Werte 1,4371 gekommen. (Der früher von ihm nach LISTING angenommene Wert $\frac{16}{11}$ = 1,4545 ist sicher zu hoch). WOINOW findet den Totalindex frischer menschlicher Linsen bei Bestimmung mittels der HELMHOLTZ'schen und der KRAUSE-schen Methode:

bei einem 2 Jährigen = 1,4311, bei einem 3 Jährigen = 1,4303,
» » 16 » = 1,4362, » » 47 » = 1,4411.

(Er fand die Differenz zwischen Kern- und Rindenindex im Alter nicht kleiner, als in der Jugend).

TSCHERNING nimmt einen Totalindex von 1,42, ja, in seiner »Optique physiologique« sogar (wie übrigens schon HIRSCHBERG 1877) nur 1,41 an; sein Schüler STADFELDT kommt wieder zu dem Werte 1,4352, der nahe mit dem ersten von THOMAS YOUNG ermittelten Werte (1,4359) übereinstimmt. HEINE kommt unter Benutzung der MATTHIESSEN'schen Regel zu einem Totalindex von 1,425 bis 1,430 bei jüngeren und von 1,415 bis 1,425 bei alten Leuten. TREUTLER hat kürzlich (1902) unter Hinweis darauf, dass die bisherigen Methoden der direkten Indexbestimmungen nicht genügend zuverlässig seien, den Linsenindex aus dem Refraktionsverluste bei Linsenentfernung berechnet und kommt (unter gewissen Voraussetzungen) zu einem Werte von 1,4215.

Weiter hat MATTHIESSEN den Einfluss der Schichtung der Linse auf die Lage des durch Reflexion an der hinteren Linsenfläche zustande kommenden zweiten PURKINJE'schen Bildes untersucht. Der gewöhnlich zu Grunde gelegte Totalindex stellt hier einen geringeren Wert dar, als der wirklich, wegen der Schichtung, in Betracht kommende. Für das in Frage stehende dioptrisch-katoptrische System kommt MATTHIESSEN zu dem Ergebnisse, »dass durch die Annahme einer geschichteten Linse die Kardinalpunkte nur ganz unbeträchtlich nach hinten verschoben werden und dass die Brennweite ebenfalls unmerklich vergrößert wird«.

Für die Orter der Kardinalpunkte des ganzen Auges ergiebt sich durch die Annahme der Schichtung, dass dieselben ein wenig nach vorn gerückt werden, doch ist auch hier die Verschiebung so gering, dass man sie ohne Schaden vernachlässigen und die Orter der für eine homogene Linse gefundenen Kardinalpunkte benutzen kann.

Als hauptsächliche Wirkung der Schichtung der Linse haben wir die Verkleinerung ihrer Brennweite kennen gelernt; ferner ergiebt sich aus ihr aber der Vorteil, dass der Astigmatismus bei schiefer Incidenz wesentlich verkleinert wird. L. HERMANN hat durch Rechnung allgemein gezeigt, dass eine Konvexlinse für die Bilder bei schiefer Incidenz des

Strahlenbündels wesentlich günstiger wirkt, wenn sie bei gegebener Brennweite einen stärker gekrümmten, stärker brechenden Kern hat; ist der Kern eine Kugel, so ist das System besonders günstig. Im letzteren Falle befindet sich nun annähernd die Krystalllinse«. Hermann bezeichnet diese Eigenschaft als »Periskopie«, weil solche Linsen »gleichsam mehr nach den Seiten sehen können, ein weiteres Gesichtsfeld haben als andere«. Die im Vergleiche zu anderen optischen Instrumenten beträchtliche Größe des Gesichtsfeldes des Auges macht das Vorhandensein derartiger periskopischer Einrichtungen bis zu einem gewissen Grade erwünscht; doch ist nicht zu vergessen, dass die hierbei in Frage kommenden peripheren Netzhautpartien verhältnismäßig geringe Sehschärfe haben, so dass eine astigmatische Verzerrung des Netzhautbildes hier viel weniger stört, als in unmittelbarer Nähe der Fovea.

§ 28. Die Brennweite der Linse in Glaskörper beträgt nach den im vorstehenden mitgeteilten Werten: Helmholtz (älterer Wert) 43,707 mm, Helmholtz (späterer Wert) 50,617 mm, Tscherning 62,46 mm, Stadfeldt 53,27 mm. Dieser letztere Wert kommt dem von Becker vor fast 30 Jahren auf Grund von Beobachtungen an aphakischen Augen aufgestellten (54,84 mm) wieder sehr nahe. Schon Donders und Mauthner hatten darauf aufmerksam gemacht, dass die von Helmholtz ursprünglich für die Brennweite der Linse angenommenen Werte zu klein sein müssen (vgl. auch die Abschnitte Myopie und Aphakie).

Die Messungen v. Zehender's und Matthiessen's (1877) an Starlinsen mittels des Abbe'schen Refraktometers ergaben, dass der Brechungskoeffizient der kataraktosen Massen bald unverändert, bald erhöht, bald herabgesetzt war. Bei weichen Staren, besonders jugendlicher Individuen, war der Index im allgemeinen nur wenig verändert, selbst herabgesetzt, bei harten Kernstaren dagegen sehr erheblich erhöht.

Bei dem Schichtstar eines 5jährigen Knaben fand sich

für die Rindenschicht	ein Brechungskoeffizient von	1,4099,
mittlere Kernschicht		1,4180,
innerste	»	1,4187,
bei einer 64jährigen Frau betrugen die entsprechenden Werte:		1,3945,
		1,4274,
		1,4383.

Heine berechnet für Starlinsen unter Benutzung der Matthiessen'schen Regel meist einen erhöhten Totalindex, bedingt durch Erweichung am vorderen Pole oder durch Verhärtung des Kerns oder durch beides. Er erhielt so Werte bis zu 1,47 und 1,487.

§ 29. Der Einfluss der Änderung der hier vorkommenden Konstanten um gewisse Beträge auf die Refraktion des Auges möge an einigen Beispielen veranschaulicht werden, die zugleich eine Vorstellung von der Größe der bei den fraglichen Messungen in Betracht kommenden Fehler geben können.

Einer Minderung des Brechungsindex der Linse um 0,01 (z. B. von 1,43 auf 1,42) entspricht innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen eine Minderung der Gesamtbrechkraft des Auges um ungefähr 2 Dioptrien, eine Zunahme der hinteren Brennweite um etwa 0,7 mm. Ein Auge, dessen übrige Konstanten die gleichen sind, wie in dem oben angeführten Beispiele, würde, um emmetropisch zu sein, bei einem Linsenindex von 1,43 eine Achsenlänge von 23,22 mm, bei einem Index von 1,42 aber eine solche von ca. 23,9 mm haben müssen.

Verkleinerung des Radius der Linsenvorderfläche von 10 auf 9 mm bedingt eine Myopie von nahezu 1 Dioptrie. Verkleinerung des Radius auf 5 mm hätte ceteris paribus eine Myopie von ca. 7 1/2 Dioptrien zur Folge. Verkleinerung des Radius der Linsenhinterfläche von 6 auf 5 mm würde eine Myopie von ca. 2 Dioptrien herbeiführen.

Über den Einfluss der Linsendicke auf die Gesamtrefraktion des Auges finden sich in der Litteratur einige Unklarheiten. Die Frage ist wegen der schwankenden Angaben über die Dicke der Linse (3,6 bis über 6 mm), wie auch wegen deren Zunahme im Alter nicht ganz unwichtig. Eine Zunahme der Linsendicke allein würde eine Herabsetzung ihrer Brechkraft bedingen, denn in der Linsenformel wird das von der Summe $D_{,} + D_{,,}$ zu subtrahierende Produkt $\delta D_{,} D_{,,}$ mit wachsender Linsendicke größer. Für $d = 5{,}6$ z. B. wird $D = 24{,}35$; einer Dickenzunahme um 2 mm (von 3,6 auf 5,6 mm) entspräche also eine Brechkraftverminderung um ca. 0,2 Dioptrien. Bei Ermittelung des Einflusses dieser Verminderung auf die Brechkraft des ganzen Auges ist zu berücksichtigen, ob die Dickenzunahme wesentlich durch Ortsveränderung der vorderen oder der hinteren Fläche oder beider erfolgt. Bleibt z. B. der Ort des vorderen Linsenscheitels unverändert, während die Dicke der Linse von 3,6 auf 4 mm zunimmt, so wird hierdurch die Gesamtbrechkraft des Auges = 62,79 Dioptrien, nimmt also um ca. 0,21 Dioptrien ab. Wichtiger ist die Berechnung für den Fall, dass die Dickenzunahme wesentlich durch Vorrücken der vorderen Linsenfläche nach vorn erfolgt. Denn im Alter wird die vordere Kammer thatsächlich flacher, was wahrscheinlich zum großen Teile auf diese Dickenzunahme der Linse zu beziehen ist. Das Vorrücken der vorderen Linsenfläche erhöht aber die Gesamtbrechkraft des Auges und wird also die durch die Dickenzunahme bedingte Verminderung mehr oder weniger ausgleichen, bezw. überkompensieren können.

So ist die Gesamtbrechkraft des Auges, wenn der Ort des Linsenscheitels = 3,6 mm ist, für eine Linsendicke von 5 mm etwa 0,6 Dioptrien

kleiner, als für eine solche von 4 mm; wird aber bei dieser Dicke von 5 mm der Scheitel um 1 mm nach vorn gerückt, so dass sein Ort = 2,6 mm wird, so ist jetzt die Gesamtbrechkraft um etwa 0,2 Dioptrien grösser, als bei einer Dicke von 4 mm und einem Orte von 3,6 mm; denn eine Verschiebung der Linse (im Zustande der Akkommodationsruhe) um 1 mm nach vorn bedingt (für die hier in Betracht kommenden Linsendicken) eine Erhöhung der Gesamtbrechkraft des Auges um ca. 0,8 D.

Für ein Auge, dessen Konstanten die gleichen sind, wie in dem obigen Beispiele, (Brechkraft der Hornhaut 42,99 Dioptrien, Brechkraft der Linse 24,55 Dioptrien) erhalten wir, wenn der Ort des Linsenscheitels 2,6 bezw. 3,6 und 5,6 mm gesetzt wird:

	$d = 2,6$	$d = 3,6$	$d = 5,6$
Brechkraft des Auges	63,801	63,0	61,43,
hintere Brennweite	20,95	21,224	21,75,
$h_{\prime\prime}$	3,191	3,914	5,414,
Ort des hinteren Brennpunktes	22,677	23,224	24,24.

Einem Vorrücken der Linse um 1 mm entspricht also ein Vorrücken des hinteren Brennpunktes um ca. 0,55 mm, wodurch innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen ein vorher emmetropisches Auge eine Hauptpunktsmyopie von ca. 1,6 Dioptrien bekäme. (Für die akkommodierte Linse sind die Werte etwas höher; unter Zugrundelegung z. B. des neueren Helmholtz'schen Auges entspricht hier einer Linsenverschiebung um 1 mm eine Refraktionsänderung im Betrage von angenähert 2 Dioptrien.)

Die vorstehenden Werte habe ich wesentlich mit Rücksicht darauf angeführt, dass thatsächlich im höheren Alter eine nicht unbeträchtliche Dickenzunahme der Linse und ein Vorrücken ihrer Vorderfläche statthat; wir sehen, dass beide Umstände in ihrer Wirkung auf die Gesamtrefraktion des Auges sich gegenseitig bis zu einem gewissen Grade aufheben können. Die Brechkraftverminderung, die im Alter durch Abnahme des Totalindex herbeigeführt wird, kommt trotz des Vorrückens der Linsenvorderfläche zum Ausdrucke; sie kann angeblich in einem früher emmetropisch gewesenen Auge eine Hypermetropie von 2—3 Dioptrien hervorrufen.

Bezüglich der sphärischen Aberration der Linse hat Stadfeldt (auf Grund von Versuchen mit parallel auffallendem Lichte für aus dem Auge genommene Linsen angegeben, dass bei einem Pupillendurchmesser von 4 mm die Linse aplanatisch oder schwach überkorrigiert sei, dass aber bei weiterer Pupille (von 6—7 mm) wieder stärker überkorrigierte Zonen in Betracht kämen. Er fand bei einer menschlichen Linse in einem Abstande von

der Achse	= 0,	2,1,	2,9,	3,7,	4,1	mm
eine Brechkraft	= 17,9,	16,9,	15,8,	16,9,	20,1	Dioptrien.

In einem Abstande von ca. 3,5 mm zeigte sie also negative Aberration. (Diese Werte sind nicht ohne weiteres auch auf die Verhältnisse im Auge selbst übertragbar, da hier das Licht im allgemeinen konvergent auf die Linse fällt).

Brudzewski (1901) schreibt auf Grund von Vergleichungen zwischen der Form der Hornhaut und der skiaskopisch ermittelten Totalrefraktion der von ihm untersuchten Augen der Linse eine schwache negative Aberration zu.

Gullstrand schließt aus unten (§ 44) ausführlicher mitzuteilenden Messungen an seinen Augen, dass die hier gefundene positive sphärische Aberration zu groß ist, um allein durch die Form der vorderen Hornhautfläche erklärt zu werden. (Die Verhältnisse dürften wohl auch in verschiedenen Lebensaltern merklich verschieden sein.)

§ 30. Die für die Achsenlänge des Auges (d. i. den Abstand der lichtempfindlichen Netzhautschichte in der Fovea vom Hornhautscheitel) angegebenen Werte schwanken innerhalb ziemlich weiter Grenzen.

Helmholtz berechnete die Achsenlänge früher zu 22,231 mm, später zu 22,823 mm (in der zweiten Auflage der Physiol. Optik. ist irrtümlich 22,819 mm berechnet). Spätere Beobachtungen haben gezeigt, dass auch dieser Wert den normalen Verhältnissen im allgemeinen nicht entsprechen dürfte. Mauthner ist der Meinung, dass ein schematisches Auge mit einem Hornhautradius von 7,6 mm und einer Achsenlänge von 23,8 bis 24,1 mm dem Mittelwerte am besten entspreche. O. Becker nimmt 23,87, Stadfeldt (1899) 23,46 mm an. Reuss berechnet eine Achsenlänge von 23,91 mm als Mittel aus 6 genaueren Messungen. Der von Tscherning angenommene Wert beträgt 24,75 (an anderer Stelle 24,6), ist also um fast 1 mm größer als die meisten anderen.

Die Ergebnisse anatomischer Messungen können zur Entscheidung der Frage nach der normalen Achsenlänge kaum herangezogen werden; denn einmal ist man nur selten in der Lage, nach der Enucleation ein gesundes Auge zu messen, dessen Refraktion im Leben genau bekannt war; ferner können nur ganz frisch enucleierte Augen in Betracht kommen, und selbst dann dürfen die am exstirpierten Auge gemessenen Werte nicht ohne weiteres als denjenigen des lebenden genau entsprechend angesehen werden. Die Methoden zur Bestimmung der Achsenlänge aus der Größe der Netzhautbilder bezw. der ophthalmoskopischen Vergrößerung des Augenhintergrundes (Hirschberg, Nagel u. a.) können gleichfalls im allgemeinen keine sehr genauen Ergebnisse liefern. Eher lassen sich im aphakischen Auge genaue Werte ermitteln, da hier zur Bestimmung der Achsenlänge nur die Kenntnis des Hornhautradius und der Refraktion des untersuchten Auges nötig ist. (Donders, v. Reuss, Woinow, Mauthner.)

Nimmt man die Dicke von Sclera + Chorioidea am hinteren Pole zu 1,3 mm an (DONDERS), so entspräche den oben angegebenen Grenzwerten für den Abstand der lichtempfindlichen Schichte vom Hornhautscheitel eine Totalachse von 23,531 bis 26,05 mm. Messungen am Leichenauge ergeben meist Werte zwischen 24,5 bis 25,5, im Mittel ca. 25 mm. (MAUTHNER). HIRSCHBERG maß bei einem an Glaucom erblindeten, enucleirten Auge, dessen Refraktion am Rande der Papille er nahezu emmetropisch gefunden hatte, eine Totalachsenlänge = 23,74 mm; WEISS bestimmte an einem in vivo emmetropisch gefundenen Auge die innere Achse von der Hornhaut bis zur Lamina cribrosa zu 23 mm.

Eine sehr große Übereinstimmung der Werte für die Achsenlänge des emmetropischen Auges ist übrigens schon deshalb nicht zu erwarten, weil wie unten eingehender begründet wird emmetropische Refraktion keineswegs an eine bestimmte Achsenlänge gebunden ist.

§ 31. Bei den bisherigen Untersuchungen war stets vorausgesetzt, dass die brechenden Medien des Auges centriert seien und von den vom fixierten Objekte ausgehenden Strahlen angenähert rechtwinklig getroffen würden. Es ist zu untersuchen, inwieweit dies beim menschlichen Auge wirklich zutrifft.

Der von einem leuchtenden Punkte nach dem ersten Knotenpunkte des Auges gerichteten Geraden gehört nach der Brechung im Auge eine zu ihr parallel durch den zweiten Knotenpunkt gehende Gerade zu; diese Geraden werden nach HELMHOLTZ als die erste, bezw. zweite Richtungslinie bezeichnet. Diejenige Richtungslinie, die nach der Brechung die Stelle des direkten Sehens trifft, heißt die Gesichtslinie. Da im reduzierten Auge die beiden Knotenpunkte in einen zusammenfallen, und da sie auch im schematischen Auge so nahe bei einander liegen, dass ihr gegenseitiger Abstand vernachlässigt werden kann, so lässt sich die Gesichtslinie kurz definieren als die Gerade, die die Fovea mit dem Fixierpunkte verbindet.

Als Visierlinie *κατ' ἐξοχήν* oder Hauptvisierlinie bezeichnen wir die Gerade, die vom Fixierpunkte zu dem von ihm aus scheinbaren Mittelpunkte der Pupille (also zur Mitte der »Eintrittspupille«) geht (vgl. § 41). Nach der Brechung in der Hornhaut geht die Visierlinie durch die Mitte der wirklichen Pupille, nach der Brechung in der Linse von der Mitte der Austrittspupille zur Fovea. Bei großem Objektabstand ist der Winkel, den Visierlinie und Gesichtslinie mit einander bilden, so klein, dass man beide als zusammenfallend ansehen kann. Während man früher wesentlich die Gesichtslinie für das Sehen in Betracht zog, haben BLIX (1880), LEROY (1884) und in eingehender Weise GULLSTRAND (1891) gezeigt, dass der Visierlinie eine viel größere Bedeutung für das Sehen zukommt, wie aus dem folgenden hervorgeht.

Als Blicklinie wird die Gerade bezeichnet, die von dem fixierten Punkte zum Drehpunkte des Auges geht, als optische Achse diejenige Gerade, auf welcher, genaue Centrierung der brechenden Medien des Auges vorausgesetzt, die Krümmungsmittelpunkte der brechenden Flächen liegen. Früher wurde als optische Achse wohl auch die Gerade bezeichnet, welche der großen Achse des Ellipsoides entsprach, das man an Stelle der Hornhautwölbung setzen zu dürfen glaubte; nachdem sich die Unhaltbarkeit dieser Annahme über die Form der Hornhaut ergeben hat, wird man als optische Achse am zweckmäßigsten (Gullstrand) diejenige Hornhautnormale bezeichnen, die durch den Mittelpunkt der Pupille geht. Nach unserer bisherigen Annahme würden Visierlinie und optische Achse zusammenfallen, mit anderen Worten, die optische Achse ginge durch die Fovea centralis. Für viele Untersuchungen aus der allgemeinen Refraktionslehre kann eine derartige Annahme wohl auch als zutreffend angesehen werden; eine eingehendere Untersuchung zeigt aber, dass sie den Thatsachen nicht genau entspricht. Für eine Reihe von Fragen aus der Lehre vom Sehen ist die Kenntnis der Abweichungen der Visierlinie von der optischen Achse von großer Wichtigkeit.

§ 32. Zunächst sind die brechenden Medien des Auges nicht genau zu einander centriert. Allerdings sind hier die Abweichungen im allgemeinen so gering, dass sie praktisch kaum in Betracht kommen.

Helmholtz beschreibt (Ph. Opt. II, p. 108) einen Versuch, aus dem er schließt, dass das menschliche Auge nicht genau centriert sei, und Knapp fand, dass die Hornhautachse im allgemeinen 2° oder noch weniger medianwärts vom Linsenscheitel verlaufe. Von Ehrnrooth wird aber (1885) die Beweiskraft des Helmholtz'schen Versuches angezweifelt. Er glaubt gefunden zu haben, dass der Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut ein wenig temporalwärts von der Linsenachse liege. Tscherning's Versuche, aus welchen dieser die mangelhafte Centrierung des Auges schließt, werden von Gullstrand nicht für beweiskräftig gehalten. (Tscherning fand bei mehreren Augen, dass der Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut mit der Linsenachse in derselben vertikalen Ebene, jedoch unter letzterer lag. Der Winkel, den die »scheinbare« Linsenachse, (von welcher die wirkliche nur unwesentlich abweicht) und die in ihrem Schnittpunkte mit der Hornhaut auf dieser errichtete Normale bilden, variierte zwischen 2 und 3°; die Entfernung des Krümmungsmittelpunktes der Hornhaut von der Linsenachse betrug ungefähr 0,25 mm. In anderen Augen befand sich der Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut in derselben Horizontalebene mit der Gesichtslinie, nur ein wenig nach außen oder innen von dieser. Die »Centrierlinie der Hornhaut,« d. i. die den beiden Hornhautflächen gemeinsame Normale, bildete mit der Linsenachse einen Winkel von 1°,5 und lag um

3°,5 tiefer als die Gesichtslinie; letztere verlief um 2° nach oben von der Linsenachse.)

Bei starkem Akkommodieren kann die Centrierung des Auges merklich geändert werden (Tscherning). Diese Erscheinung hat, wie ich zeigen konnte, ihre Ursache in der Entspannung der Zonula Zinnii und dadurch bedingtem Herabsinken der Linse der Schwere nach; denn die Linse verschiebt sich je nach der Kopfhaltung in dieser oder jener Richtung um ca. 1/3 mm aus ihrer Ruhelage.

Ob die Linse im ruhenden Auge merklich schief zur optischen Achse steht, ist noch nicht genügend bekannt; Thomas Young vermutete und berechnete sogar eine solche Schiefstellung in seinem Auge, da sein inverser Astigmatismus auch nach Ausschaltung der Brechung in der Hornhaut durch Eintauchen des Auges in Wasser noch fortbestand. Da aber Hermann und Matthiessen nachgewiesen haben, dass die Linse infolge ihres Baues periskopisch wirkt, so ist es wahrscheinlich, dass der Linsenastigmatismus in Th. Young's Auge nicht auf Schiefstellung der Linse, sondern auf andere Ursachen, (z. B. verschiedene Krümmung derselben in veschiedenen Meridianen) zu beziehen ist (Gullstrand).

Tscherning hat eine Schiefstellung der Linse, aber zur »Gesichtslinie«, (bezw. Visierlinie), nicht eine solche zur optischen Achse gemessen; dies muss in einem centrierten Auge natürlich der Fall sein, da Visierlinie und optische Achse nicht zusammenfallen. Tscherning giebt an, dass in den von ihm untersuchten Augen der extraoculare Teil der Linsenachse um 3—7° nach außen von der »Gesichtslinie« verlief, häufig auch etwas nach unten von ihr (0—3°). Er berechnet den durch eine Schiefstellung der Linse um 7° bedingten Astigmatismus, unter der Voraussetzung, dass die Linse unendlich dünn sei, und unter Vernachlässigung der Periskopie zu 0,25 Dioptrien.

Die Annahme, dass die Pupillenmitte mit dem Scheitel der vorderen Linsenfläche zusammenfalle, scheint gleichfalls nach den bisher vorliegenden Beobachtungen wenigstens annähernd, wenn auch nicht genau, zuzutreffen. Helmholtz fand die Pupille mehr nach innen decentriert, v. Reuss in 10 von 23 Fällen, ebenso Hällsten (1872) in einem Falle nach außen. Allen diesen Messungen lag aber noch die Annahme zu Grunde, dass die Hornhautoberfläche einem Ellipsoid entspreche, was, wie wir sahen, nicht genügend zutrifft. Beträchtlichere Decentrationen der Pupille gehören jedenfalls in das pathologische Gebiet.

Aus der vorstehenden Übersicht ergiebt sich, dass wir im allgemeinen nur einen kleinen Fehler begehen, wenn wir das normale Auge als angenähert centriert betrachten.

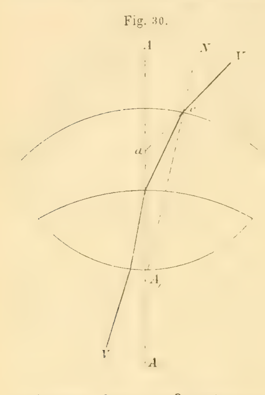
§ 33. Die zweite Voraussetzung, die bei unseren bisherigen Untersuchungen über den Strahlengang im menschlichen Auge gemacht

wurde, war die, dass die Visierlinie mit der optischen Achse des Auges zusammenfiele.

Im allgemeinen trifft dies aber nicht zu; in der großen Mehrzahl der normalen Augen geht die optische Achse nach außen von der Visierlinie vorbei und bildet mit dieser einen mehr oder weniger großen Winkel.

Das von einem fixierten Punkte zur Fovea gelangende Strahlenbündel trifft die brechenden Medien daher nicht rechtwinklig, sondern unter schiefem Einfallswinkel.

Fig. 30.



In Fig. 30 (nach Gullstrand) ist $VV_{\prime}$ der Weg des von V zur Fovea verlaufenden Strahles beim Durchtritte durch die brechenden Medien. AaV ist der Winkel zwischen Visierlinie und optischer Achse; NcV der Incidenzwinkel der Visierlinie, das ist der Winkel zwischen der Visierlinie und der Hornhautnormalen $A_{\prime}N$ im Punkte c.

Der Winkel zwischen Visierlinie und optischer Achse ist als solcher bisher nicht gemessen. Solange man glaubte, die Hornhautoberfläche als ein Ellipsoid ansehen zu können, dessen große Achse mit der optischen Achse zusammenfallend angenommen wurde, wurde vielfach der Winkel α zwischen der Gesichtslinie und der supponierten Achse des Hornhautellipsoides gemessen (v. Helmholtz). Mit dem Nachweise, dass die Hornhaut nicht genügend genau durch ein Ellipsoid ersetzt werden kann, hat dieser Winkel α seine frühere Bedeutung vollständig verloren. Aber die für ihn gefundenen Werte können annähernd als Ausdruck für den Winkel zwischen Visierlinie und optischer Achse angesehen werden; denn für große Objektabstände, wie sie bei der Messung des Winkels α früher meist benutzt wurden), fällt ja, wie wir vorhin sahen, die Gesichtslinie mit der Visierlinie zusammen, und die Hauptachse des supponierten Hornhautellipsoides entspricht wenigstens annähernd der angenommenen optischen Achse des Auges. Der kleinste Krümmungsradius der Hornhaut in ihrem horizontalen Meridian (der also dem Scheitelpunkte des supponierten Ellipsoides zugehören würde), bildet nach Messungen von Blix mit der Visierlinie einen Winkel von 1—8°. Dies entspricht den Werten, die sich bei Messungen nach verschiedenen Methoden für den Winkel α ergeben haben. (Tscherning nennt α den Winkel zwischen

Gesichtslinie und optischer Achse; er findet mit dem Ophthalmophakometer, dass die optische Achse meist 4—7° nach außen und 2—3° nach unten von der Gesichtslinie verlaufe).

Das im Auge gebrochene Strahlenbündel muss infolge des schiefen Einfallswinkels astigmatisch sein; da der Leitstrahl des einfallenden Bündels (= Visierlinie) die optische Achse schneidet, so muss das gebrochene Strahlenbündel astigmatisch von der zweiten Form (Gullstrand) sein, wie schon früher (s. § 17) erwähnt wurde. Gullstrand legt nach den eben angeführten Werten einer Berechnung über die Form des gebrochenen astigmatischen Strahlenbündels im schematischen normalen Auge die Annahme zu Grunde, dass die Visierlinie mit der optischen Achse des Auges einen Winkel von 5° bilde, so zwar, dass der extraoculare Teil der optischen Achse temporalwärts von der Visierlinie verläuft. Er zeigt, dass die durch diese schiefe Incidenz im normalen Auge bedingte Form des gebrochenen Strahlenbündels für das deutliche Sehen nicht hinderlich ist.

Wenn die Visierlinie mit der optischen Achse einen Winkel von 5° bildet, so ist die Brennstrecke des gebrochenen astigmatischen Strahlenbündels 0,03 mm lang, entspricht also einem Astigmatismus von 0,1 Dioptrie. Bei einem Pupillendurchmesser von etwas weniger als 2 mm ist der erste dünnste Querschnitt, der in einem derartigen Strahlenbündel von der zweiten Form (s. o.) an Stelle der ersten Brennlinie tritt, 0,002943 mm lang und 0,002240 mm breit; bei zunehmender Weite der Pupille wächst der erstere wie der Pupillenradius selbst, der letztere wie das Quadrat des Radius. Wohl aber kann die schiefe Incidenz unter abnormen Verhältnissen von Bedeutung werden und es ist für solche Fälle wichtig, zu wissen, inwieweit etwa gefundene Störungen auf Rechnung der Hornhaut oder aber der Linse zu setzen sind. Gullstrand hat diese Frage rechnerisch behandelt und gezeigt, dass die Form der Linse, insbesondere die stärkere Krümmung ihrer hinteren Fläche, sie besonders geeignet macht, die durch den schiefen Einfall der Strahlen in der Hornhaut bedingten Nachteile einigermaßen auszugleichen; es erscheine gerechtfertigt, den Einfallswinkel in der Hornhaut als Maßstab für die mehr oder weniger ungünstige Beschaffenheit des im Auge gebrochenen Strahlenbündels anzusehen.

Zur Messung dieses Winkels giebt Gullstrand (ähnlich wie früher Leroy) für die Fälle, in welchen es nicht auf größere Genauigkeit, als bis auf ½ bis 1° ankommt, die folgende Methode an: An einer schwarzen, in der Mitte durchbohrten Scheibe kann eine weiße Marke in radiärer Richtung bewegt werden. Die Scheibe wird in bestimmtem Abstande von dem das Centrum der Scheibe fixierenden, untersuchten Auge gehalten und der durch das Loch im Mittelpunkte der Scheibe blickende Beobachter verschiebt die Marke so weit, bis sie ihm in der Mitte der Pupille des untersuchten Auges zu liegen scheint. Der Abstand der Marke vom Mittelpunkte, dividiert durch den Abstand dieses vom Auge ist die Tangente des doppelten Incidenzwinkels (Fig. 31 $= rcb$). Statt

der Scheibe genügt auch ein central durchbohrtes Perimeter, an dessen Bogen eine Kerzenflamme verschoben wird. GULLSTRAND fand auf diese Weise in Augen mit normaler Sehschärfe den fraglichen Winkel zwischen 0° und 6° variierend, in einem Falle negativ, d. h. der extraoculare Teil der Visirlinie lag temporalwärts von der Normalen im Einfallspunkte.

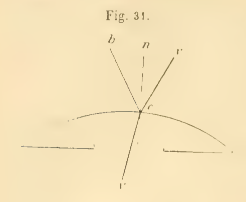


Fig. 31.

§ 34. Als Winkel γ wird der Winkel bezeichnet, welchen die Blicklinie mit der durch die Mitte der Hornhautbasis gehenden Hornhautnormalen bildet. Dieser Winkel ist deshalb von Bedeutung, weil wir die Stellung der Augen im allgemeinen nach der relativen Lage der beiden Hornhautmitten zu den beiden Blicklinien beurteilen; verläuft diese Normale (wie bei den meisten Augen der Fall) mit ihrem extraocularen Teile nach außen von der Blicklinie, so wird dadurch der Eindruck divergierenden Schielens hervorgerufen.

Das Verhältnis zwischen Winkel α und γ möge durch nebenstehendes Schema (nach MAUTHNER) veranschaulicht werden:



Fig. 32.

Wenn Aa die Achse des (früher supponierten) Hornhautellipsoides darstellt, so würde der Winkel AaG dem Winkel α nach der früheren Definition entsprechen. Ist Hd die auf der Mitte der Hornhautbasis errichtete Normale, so entspricht der Winkel HdB nach der gegebenen Definition dem Winkel γ. Sein Scheitel liegt im Drehpunkte des Auges, den wir mit MAUTHNER auf der Augenachse liegend annehmen. Der Scheitel von $\measuredangle \alpha$ liegt im Schnittpunkte der supponierten Hornhautellipsoidachse mit der Gesichtslinie und entspricht, wie zuerst WOINOW, später MAUTHNER hervorhoben, nicht den Knotenpunkten des Auges; da er aber diesen im allgemeinen nahe liegt (im linsenhaltigen Auge etwas hinter ihnen), und da die Untersuchungen sich durch eine derartige Vereinfachung übersichtlicher gestalten lassen, ist es zulässig, den Scheitel dieses Winkels α in den vereinigten Knotenpunkt des Auges zu verlegen. Von den Methoden zur Messung des Winkels γ erwähne ich die von DONDERS, sowie die von SCHÖLER, der

ein Verfahren angab, um ohne Zuhilfenahme schematischer Werte direkt die Lage des vorderen Knotenpunktes und die Größe des fraglichen Winkels zu bestimmen. Uhthoff hat nach dieser Methode eine Reihe von Messungen vorgenommen.

Der Drehpunkt des Auges, dessen Existenz zuerst von Scheiner angenommen wurde, liegt nach Messungen von Volkmann, Woinow, Berlin, Donders und Doyer, Mauthner u. a. (vgl. Hering, 1879) durchschnittlich 13—14 mm hinter dem Hornhautscheitel, ca. 1—2 mm hinter der Mitte der Sehachse, daher ungefähr 6 mm hinter dem (vereinigten) Knotenpunkte. Hierbei ist davon abgesehen, dass ein fester Drehpunkt genau genommen nur für die horizontale Blickebene vorausgesetzt werden kann. Nach J. J. Müller und Berlin entfernt sich mit Hebung der Blickebene der Drehpunkt vom Hornhautscheitel.

Für größere Objektsentfernungen wird der Winkel zwischen Blicklinie und Gesichtslinie (und Visierlinie) verschwindend klein, so dass sie praktisch ohne merklichen Fehler als zusammenfallend angesehen werden können.

Helmholtz, Knapp und Donders hatten aus ihren Messungen geschlossen, dass die Achse des von ihnen angenommenen Hornhautellipsoides auch durch die Mitte des Hornhautdurchschnittes gehe, so dass $\measuredangle\, \alpha$ und γ praktisch unter einander gleich gesetzt werden könnten. Woinow hat zuerst die durch spätere Messungen von Mauthner bestätigte Angabe gemacht, dass diese Hornhautachse nicht durch die Hornhautmitte gehen muss, man also aus dem Winkel γ keinen Schluss auf den Winkel α ziehen kann. Da die Substitution der Hornhaut durch ein Ellipsoid nicht genügend den Thatsachen entspricht, so bietet das Aufsuchen von Beziehungen zwischen den beiden Winkeln heute wenig Interesse mehr. An Stelle der Ellipsoidachse tritt als optische Achse die durch die Pupillenmitte gehende Hornhautnormale. In prinzipieller Hinsicht ist die Differenz streng festzuhalten, die sich für die Winkel zwischen optischer Achse und Visierlinie, bezw. Blicklinie oder Gesichtslinie ergiebt. Im ersten Falle liegt der Scheitel des Winkels in der Pupille, im zweiten Falle im Drehungsmittelpunkte, im dritten (angenähert) im Knotenpunkte des Auges.

Die Messung des Winkels α nach Helmholtz und Knapp geschah in der Weise, dass man aus der Bestimmung der Radien dreier Hornhautpunkte das Hornhautellipsoid konstruierte und den Winkel zwischen Achse und Gesichtslinie durch Rechnung ermittelte. Donders maß direkt den Winkel zwischen der Blicklinie und der Normalen in der Hornhautmitte, welche letztere er bekanntlich ophthalmometrisch bestimmte, indem er die beiden Reflexbilder einer Flamme mit den Rändern der Hornhautbilder zur Deckung brachte. Diese Einstellung ist gleichzeitig nur möglich, wenn das Auge einen in bestimmtem Abstande seit-

lich von der Ophthalmometerachse befindlichen Punkt fixiert. Der Winkel, den die Blicklinie mit der Ophthalmometerachse macht, entspricht dem Winkel γ. Unter der Annahme, dass der Scheitel des Winkels α im Knotenpunkte liege, dessen Abstand vom Drehpunkte bekannt wäre, wurde versucht, aus dem $\sphericalangle\gamma$ auch den Winkel α zu berechnen. MANDELSTAMM benutzte eine von HELMHOLTZ angegebene Methode, die etwa den Winkel zwischen der Blicklinie und einer supponierten Symmetrieachse der Hornhaut ergiebt, theoretisch also etwas anderes als den HELMHOLTZ'schen Winkel α. Praktisch kommt der Unterschied nicht in Betracht; nachdem sich gezeigt hat, dass die Hornhaut keine eigentliche Symmetrieachse besitzt, ist es nicht notig, die betreffenden Methoden eingehender zu erörtern.

§ 35. Der $\sphericalangle\gamma$ (von DONDERS ursprünglich irriger Weise gleichfalls α genannt), ist durch wichtige Beziehungen zu Refraktionsanomalien und zur Lehre vom Schielen von besonderem Interesse. DONDERS fand, dass er im allgemeinen bei Hypermetropie größer, bei Myopie kleiner ist, als bei Emmetropie. Er fand ihn im Durchschnitt in der Horizontalebene bei Emmetropie $= 5°082'$, bei Hypermetropie $= 7°55'$, bei Myopie im allgemeinen etwas kleiner als 2°. Der größte von ihm gemessene Winkel betrug 11°3', der kleinste — 1,5°. Die Höhenabweichung fand er gering und von untergeordneter Bedeutung.

Wenn in beiden Augen der $\sphericalangle\gamma$ positiv ist, so müssen bei parallelen Blicklinien die Augen zu divergieren scheinen, um so mehr, je größer er ist, im allgemeinen also bei Hypermetropie mehr als bei Emmetropie, während bei Myopie diese scheinbare Divergenz kleiner oder = Null sein oder (bei negativem $\sphericalangle\gamma$) einer scheinbaren Konvergenz Platz machen wird. In diesem Befunde sieht DONDERS die Erklärung für den so häufig beobachteten scheinbaren Strabismus divergens bei Hypermetropie, sowie für den (etwas weniger häufigen) scheinbaren Strabismus convergens bei Myopie.

Nach MAUTHNER dagegen soll das scheinbare Schielen nur hervorgerufen werden können, wenn der $\sphericalangle\gamma$ in beiden Augen verschieden groß sei; er fand, dass dies in der That fast immer zutreffe: fast durchweg sei der Winkel rechts grösser als links (im Mittel $R = 4,04°$ $L = 1,53°$). Da man nun das Auge mit dem kleineren $\sphericalangle\gamma$ als das richtig stehende ansehe, so sei in der Regel ein scheinbarer Strabismus divergens des rechten Auges in den fraglichen Fällen nachzuweisen.

Dass es sich um scheinbaren, nicht um wirklichen Strabismus handelt, wird leicht durch abwechselndes Verdecken des einen und anderen Auges nachgewiesen: bei Wegziehen der Hand tritt eine Einstellungsbewegung des jeweils verdeckt gewesenen Auges nicht ein, während beim wirklichen Schielen eine solche erfolgt (falls nicht etwa das schielende Auge in seiner Sehfähigkeit sehr stark beeinträchtigt ist).

Donders und Mauthner hielten diese Form des Schielens für identisch mit der von Joh. Müller (vergl. Physiol. d. Gesichtssinnes) als Strabismus incongruus beschriebenen. Es ist aber zu betonen, dass das von Müller beschriebene klinische Bild sich auch bei wirklich Schielenden mit beiderseits guter Sehschärfe und fehlendem Doppeltsehen finden kann. Da solche Kranke bei geänderter Augenstellung doppelt sehen, so schloss Müller auf einen »Unterschied in der Lage der identischen Stellen der Netzhäute beider Augen«. Wieviel Richtiges in dieser Annahme liegt, haben Tschermak's interessante Beobachtungen gezeigt (1898), aus welchen hervorgeht, dass bei zahlreichen Schielenden eine »anomale Sehrichtungsgemeinschaft« besteht, die in einer Reihe von Fällen auch ein gewisses Binocularsehen gestattet. Aus dem Fehlen des Doppeltsehens solcher Kranken bei ihrer gewöhnlichen Schielstellung darf noch nicht auf anomales Binocularsehen geschlossen werden, denn dieses Fehlen kann auch lediglich durch hochgradige »innere Hemmung« des Schielauges bedingt sein.

Donders suchte die Erklärung für die verschiedene Größe des Winkels γ bei verschiedenen Refraktionszuständen darin, dass im übersichtigen Auge die Fovea weiter vom hinteren Pole entfernt sei, als im emmetropischen, dass aber auch, wenn dieser Abstand nicht größer sei, allein infolge der Kürze der Augenachse der Winkel γ größer sein müsse, da der Scheitel des Winkels der Netzhaut näher liege. Die letztere Annahme hält Mauthner für unrichtig, da er den Abstand des blinden Fleckes von der Fovea (in Perimetergraden) bei Hypermetropie nicht größer als bei Emmetropie, ja, bei hochgradiger Hypermetropie besonders klein fand. Die Größe des Winkels γ ist nach ihm ganz unabhängig von dem Abstande der Fovea vom blinden Flecke; dagegen sei im hypermetropischen Auge die Fovea vom hinteren Pole auffallend weit entfernt. Die Ursache für das Kleiner- bezw. Negativwerden von γ bei Myopie sieht Mauthner darin, dass die Netzhaut am hinteren Pole des kurzsichtigen Auges sich weniger dehne, als die Sclera, daher die Fovea gegen die fixe Stelle des Sehnerveneintrittes »gewissermaßen hingezogen« werde.

Schematisches und reduziertes Auge.

§ 36. Das schematische Auge. Wir haben gesehen, dass die Werte für die Konstanten des menschlichen Auges innerhalb verhältnismäßig weiter Grenzen schwanken können. Die Unmöglichkeit, dieselben in jedem einzelnen Falle zu messen bezw. zu berechnen, und andererseits das Bedürfnis, zahlenmäßige Grundlagen für die Untersuchungen zu bekommen, haben zu der Aufstellung des sogenannten schematischen Auges geführt; in diesem sind für die Konstanten Durchschnittswerte aus größeren Beobachtungsreihen eingesetzt, das Auge ist centriert, die Begrenzung der einzelnen Flächen sphärisch angenommen.

Ein solches schematisches Auge wird also wohl kaum jemals einem in Wirklichkeit vorkommenden in allen Punkten ganz entsprechen; doch giebt

es ein angenähertes Bild von den am häufigsten vorkommenden Werten und unterscheidet sich durchschnittlich von ihnen so wenig, dass die durch seine Benutzung gewonnene große Vereinfachung für viele wichtige ophthalmologische Untersuchungen gestattet ist. Man darf indess nicht vergessen, dass man sich unter Umständen durch Anwendung des schematischen Auges ziemlich weit von der Wirklichkeit entfernen kann.)

Listing hat zuerst ein solches schematisches Auge aufgestellt; nach ihm hat Helmholtz auf Grund seiner Messungen Zahlen für ein mittleres Auge angegeben, die lange Zeit fast allgemeine Giltigkeit hatten. Zuerst wurde von praktischer Seite auf Widersprüche zwischen diesen Werten und den insbesondere an Staroperierten gewonnenen Beobachtungen hingewiesen, die in erster Linie Brennweite und Brechungsindex der Linse betrafen. Daraus ging hervor, dass die Linse unmöglich die kleine Brennweite haben kann, die Listing und Helmholtz früher angenommen hatten. In der That hat ja Helmholtz den totalen Brechungsindex der Linse später von dem ursprünglich angenommenen Werte von 1,4545 auf 1,4371 herabgesetzt, woraus sich auch für die Achsenlänge des schematischen Auges entsprechend höhere Werte ergeben. Ich verzichte daher auf die Wiedergabe dieser älteren Zahlen für das schematische Auge und gebe in der nebenstehenden Tabelle die Zahlen für das neuere Helmholtz'sche, für ein von O. Becker (1875) nach den Beobachtungen an Aphakischen aufgestelltes, sowie für ein in den letzten Jahren von Stadfeldt (1899) angegebenes schematisches Auge, das sich in vielen Punkten den Helmholtz'schen und Becker'schen Zahlen nähert.

Ein schematisches Auge von Tscherning unterscheidet sich von den übrigen wesentlich durch den niedrigen Linsenindex von 1,41 (der wohl kaum den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen dürfte), und die dadurch bedingte sehr große Achsenlänge von 24,75 mm. Kürzlich hat Treutler (1902) gegen die hier angeführten schematischen Augen einige Bedenken erhoben, die er vorwiegend aus den Ergebnissen der Untersuchung kurzsichtiger Augen vor und nach Entfernung der Linse herleitet. Nach seinen Berechnungen, bei welchen der Abstand der Hinterfläche des Korrektionsglases von der Hornhaut = 13 mm gesetzt wird, schlägt er, in Anlehnung an die schematischen Augen von Stadfeldt und Tscherning einige Modifikationen an diesen vor, durch die eine bessere Übereinstimmung mit den Thatsachen erhalten wird. Er setzt die Radien der vorderen, bezw. hinteren Hornhautfläche = 7,7003, bezw. 7,0 mm, die Hornhautdicke = 1,15 mm, die Radien der Linse = 10,95 und 6 mm, ihre Dicke = 3,63 mm, ihren Index (aus dem Refraktionsverluste kurzsichtiger Augen nach der Extraktion berechnet) = 1,4215, und erhält dann für den Brechwert des Auges 60,704 Dioptrien, für den Ort des vorderen bezw. hinteren Brennpunktes — 14,932, bezw. 23,745 mm und für die beiden Brennweiten 16,473 und 21,0165 mm.

Tabelle der Konstanten des menschlichen Auges.

	Neuere Werte von Helmholtz		Becker	Stadfeldt
	Ruhe	Akkommod von ca. 6½ D		
Brechungsvermögen der Hornhaut . . .	—	—	—	1,377
Brechungsvermögen des Kammerwassers und Glaskörpers	1,3365	1,3365	1,3360	1,3365
Totales Brechungsvermögen der Krystalllinse	1,4371	1,4371	—	1,4352
Krümmungsradius der Hornhaut	7,829	7,829	7,7	7,92
Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche	10,0	6,0	—	10,95
Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche	6,0	5,5	—	6,0
Ort der vorderen Linsenfläche	3,6	3,2		3,85
Ort der hinteren Linsenfläche	7,2	7,2	—	7,48
Dicke der Linse (berechnet)	3,6	4,0	—	3,63
Vordere Brennweite der Hornhaut . . .	23,266	23,266	23,86	23,54
Hintere Brennweite der Hornhaut	31,095	31,095	—	31,46
Brennweite der Linse	50,617	39,074	54,84	53,27
Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von ihrer Vorderfläche	2,126	1,989	—	2,216
Abstand des hinteren Hauptpunktes der Linse von ihrer Hinterfläche.	— 1,276	— 1,823	—	— 1,215
Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse voneinander	0,198	0,187	—	—
Vordere Brennweite des Auges	15,498	13,990	16,15	15,94
Hintere Brennweite des Auges	20,713	18,698	21,59	21,30
Ort des ersten Hauptpunktes des Auges .	1,753	1,858	2,25	1,815
Ort des zweiten Hauptpunktes des Auges	2,110	2,257	2,28	2,156
Ort des ersten Knotenpunktes des Auges	6,968	6,566	7,68	7,18
Ort des zweiten Knotenpunktes des Auges	7,321	6,965	7,71	7,52
Ort des vorderen Brennpunktes des Auges	— 13,745	— 12,132	— 13,90	— 14,13
Ort des hinteren Brennpunktes des Auges	22,823	20,955	23,87	23,46

Becker nimmt für die Lage der Linse an, dass ihr optisches Centrum 7,7 mm hinter dem Hornhautscheitel liege, also etwa 1,3 mm mehr, als sonst angenommen wird.

(Ich füge schon hier die von Helmholtz für das akkommodierende Auge aufgestellten Zahlen an und verweise diesbezüglich auf den Abschnitt über Akkommodation).

Den Beispielen und Berechnungen in den folgenden Abschnitten habe ich teils die Helmholtz'schen, teils die Stadfeldt'schen oder Treutler'schen Konstanten zu Grunde gelegt, da ich mich nicht für ein bestimmtes unter den verschiedenen schematischen Augen entscheiden mochte und es mir im allgemeinen wesentlich darauf ankam, die Anwendung der Formeln auf praktische Fälle an beliebigen Beispielen zu zeigen.

§ 37. **Das reduzierte Auge.** Wir haben früher (§ 13) gesehen, dass zur Bestimmung der Lage und Größe der Bilder eines beliebigen zusammengesetzten optischen Systems man dieses ersetzt denken kann durch eine brechende Fläche, die nach vorn von dem ersten, nach hinten von dem letzten Medium des zusammengesetzten Systems begrenzt ist und deren Scheitel im ersten Hauptpunkte, deren Mittelpunkt im ersten Knotenpunkte des zusammengesetzten Systems liegt. Wenn diese Kugelfläche die gleichen Brennweiten hat, wie das betreffende System, so ist sie dem letzteren »äquivalent«. Führt man für diese äquivalente Fläche die Konstruktionen zur Ermittelung von Lage und Größe der Bilder in der bekannten Weise durch und verschiebt die gefundenen Abstände auf der Achse um die Distanz der Hauptpunkte des zusammengesetzten Systems, so stimmen die Bilder mit jenen des zusammengesetzten Systems überein. Bei dem menschlichen Auge haben wir als erstes Medium Luft, als letztes den Glaskörper mit dem Index 1,3365; die Brechkraft des optischen Systems haben wir in einem früheren Beispiele = 63 Dioptrien gefunden. Daher wäre $r = \frac{n - 1}{D} = 5,34$ mm. Die äquivalente brechende Fläche des Auges würde also in diesem Falle dargestellt durch eine Kugelfläche mit einem Radius = 5,34 m und einem Index = 1,3365, deren Scheitel im ersten Hauptpunkte liegt. Dann fällt der Krümmungsmittelpunkt mit dem ersten Knotenpunkte zusammen; in der That liegt ja $k_{,}$ um die Differenz $F_{,,} - F_{,} =$ 21,21 — 15,87 = 5,34 hinter $h_{,}$).

Man würde die in einem Auge zustande kommenden Bilder genau erhalten, wenn man mit den von einer solchen Fläche entworfenen in der eben angegebenen Weise verführe. Im menschlichen Auge ist aber der Abstand zwischen den beiden Hauptpunkten sehr klein (ca. 0,35 mm, siehe oben), so dass man nach Listing's Vorgange die Vereinfachung vorgenommen hat, die Verschiebungen längs der Achse zu vernachlässigen, dafür aber den Scheitel der äquivalenten Fläche in die Mitte zwischen beiden Hauptpunkten und den entsprechenden Krümmungsmittelpunkt in die Mitte zwischen beiden Knotenpunkten zu verlegen. Der dadurch begangene Fehler ist in der That für viele praktische Zwecke unwesentlich. Ein solches vereinfachtes System nennt man reduziertes Auge. Es ist für dasselbe eine Reihe von Zahlen angegeben worden, die im allgemeinen wenig voneinander abweichen.

Nagel legte den Scheitel der Kugelfläche in den zweiten Hauptpunkt. Die Achse eines solchen reduzierten Auges wird also, da der zweite Hauptpunkt um ca. 2 mm hinter dem Hornhautscheitel liegt, um ebensoviel kürzer sein, als die Achse des schematischen Auges.

Für das reduzierte Auge Listing's ist bei einem Index = $\frac{103}{77}$ der Radius = 5,1248, der Ort des Scheitels = 2,3448, der Ort des Krümmungsmittelpunktes = 7,4696 mm angenommen.

Aus den älteren HELMHOLTZ'schen Werten für das schematische Auge berechnet MATTHIESSEN für das reduzierte, nicht akkommodierende Auge: $r = 5{,}0772$ mm, den Ort des Scheitels $= 2{,}1182$ mm, den Ort des Krümmungsmittelpunktes $= 7{,}1954$ mm, für das akkommodierende Auge: $r = 4{,}5484$ mm, den Ort des Scheitels 2,2287 mm, den des Krümmungsmittelpunktes 6,7771 mm.

Nach MATTHIESSEN würde den Anforderungen am besten ein reduziertes Auge entsprechen, welches einen Index $= 1{,}3642$ mm, einen Radius $= 5{,}4655$ mm und einen Scheitelpunktsort $= 2{,}1746$ mm (gleich dem des ersten Hauptpunktes) hätte; der zweite Knotenpunkt des schematischen wäre der Krümmungsmittelpunkt des reduzierten Auges. Unter gleicher Voraussetzung wäre für das auf nahe Objekte akkommodierende Auge $n = 1{,}3721$, $r = 4{,}9409$ mm und der Ort des Scheitels $= 2{,}0330$ mm (wieder identisch mit dem des ersten Hauptpunktes).

Die durch das reduzierte Auge gewonnene Vereinfachung für die Rechnung ist sehr wesentlich, die Ergebnisse stimmen für viele Zwecke genügend genau mit den für das schematische auf viel umständlichere Weise ermittelten überein.

Ein noch einfacheres reduziertes Auge mit abgerundeten Zahlen hat DONDERS angegeben, um übersichtliche Schätzungen lediglich mit Kopfrechnung vornehmen zu können. Er setzt $r = 5$ mm, $F_{\prime} = 15$, $F_{\prime\prime} = 20$ mm, $n = 4/3 = 1{,}33$, danach ist $D = 66{,}666$. Wir werden im folgenden öfter von diesem DONDERS'schen reduzierten Auge Gebrauch machen.

§ 38. Es fragt sich nun, von welchen Kardinalpunkten des Auges unsere Messungen vorgenommen werden sollen. Da jedes optische System durch seine Hauptpunkte ebensogut, wie durch seine Brennpunkte oder Knotenpunkte bestimmt ist, so haben vom rein physikalischen Standpunkte die Messungen von jedem der drei Punktpaare gleiche Berechtigung. Es können also lediglich Zweckmäßigkeitsgründe für die Wahl des einen oder anderen Punktpaares entscheidend sein.

DONDERS ging bei den Messungen im linsenhaltigen Auge von den Knotenpunkten, bei jenen im aphakischen von den Hauptpunkten aus. NAGEL betonte mit Recht die hierin liegende Inkonsequenz und ging für seine Berechnungen durchweg von den Hauptpunkten aus, während MAUTHNER für das linsenhaltige wie für das aphakische Auge von den Knotenpunkten ausging. Früher haben HASNER (1879), später GIRAUD-TEULON (1881) und neuerdings OSTWALD (1897) empfohlen, alle Messungen von den Brennpunkten des Auges vorzunehmen. Die Rechnung werde dadurch vereinfacht, da, wenigstens für das linsenhaltige Auge, das Korrektionsglas sich annähernd genau im vorderen Brennpunkte befindet, so dass dieses dann auch direkt den Ametropiegrad angiebt (s. u.).

Donders hatte sich für die Messung von den Knotenpunkten des linsenhaltigen Auges entschieden wegen der anscheinenden Einfachheit der Beziehungen zwischen Objekt- und Netzhautbildgröße bei Benutzung dieser Punkte. Die Untersuchungen von Gullstrand (siehe Abschn. 6) haben aber gezeigt, dass sich noch einfachere Beziehungen zwischen diesen Größen bei Messung von den Haupt- oder den Brennpunkten ergeben. Damit ist der einzige Grund hinfällig geworden, die Messungen von den Knotenpunkten aus vorzunehmen.

Die Wahl der Brennpunkte scheint sich auf den ersten Blick durch die erwähnte Beziehung zu dem korrigierenden Glase bei Ametropie zu empfehlen. Doch gilt dies nur für das linsenhaltige Auge; für das aphakische fällt dieser Vorteil weg, da hier der vordere Brennpunkt weit nach vorn rückt und das korrigierende Glas sich 10—12 mm hinter ihm befindet. Ferner ist für viele andere Untersuchungen die beträchtliche akkommodative Verschiebung der Brennpunkte bei Messung von diesen aus nachteilig. Endlich ist die Bestimmung des Korrektionsglases für eine auf die Hauptpunkte bezogene Ametropie so einfach, dass die Nachteile einer solchen kleinen Umrechnung gegenüber den großen Vorteilen, die die Messung von den Hauptpunkten in anderer Hinsicht bietet, nicht in Betracht kommen können.

Für diese spricht vor allem ihre Lage nahe an der Hornhaut, so dass die Abmessungen von einem äußerlich sichtbaren Punkte des Auges verhältnismäßig leicht und genau möglich sind. Ferner verschieben sich die Hauptpunkte bei der Akkommodation sehr viel weniger, als die beiden anderen Punktpaare; bei einer Akkommodation im Betrage von ca. 7 D verschiebt sich, wie wir sahen, der zweite Hauptpunkt nur um 0,147 mm; für das reduzierte Auge kann man diese Verschiebung ganz außer acht lassen und somit für alle Akkommodationsgrade die Hauptpunkte ohne nennenswerten Fehler mit dem Scheitel der Hornhaut zusammenfallend annehmen. Weiter liegen auch im aphakischen Auge die Hauptpunkte im Hornhautscheitel selbst, so dass hier größere Übereinstimmung mit dem linsenhaltigen Auge sich ergiebt, als bei den anderen Punktpaaren. Endlich sprechen die von Gullstrand nachgewiesenen Vorteile hinsichtlich der Berechnung der Sehschärfe und Netzhautbildgröße bei Messung von den Hauptpunkten für die Wahl dieser letzteren.

Im folgenden ist also, wenn von Ametropie schlechtweg die Rede ist, immer die auf die Hauptpunkte bezogene Ametropie gemeint; sie heiße kurz Hauptpunktsametropie. Die auf die anderen Punktpaare bezogene Ametropie, deren gelegentlich Erwähnung geschieht, heiße entsprechend Brennpunkts- bezw. Knotenpunktsametropie; die drei Formen seien kurz als A_h, bezw. A_f und A_k bezeichnet, so dass also M_h eine Hauptpunktsmyopie, H_f eine Brennpunktshypermetropie bezeichnet etc.

Für größere Objektabstände, also geringere Ametropiegrade, ist die Differenz zwischen den Abständen von f, bezw. h, und k, so gering, dass die sich ergebenden Werte nicht merklich von einander abweichen; für höhere Ametropiegrade kann der Unterschied mehrere Dioptrien betragen.

Zur Orientierung und vergleichenden Übersicht diene die folgende Tabelle, in welcher der erste Stab verschiedene Hauptpunktsametropien linsenhaltiger Augen, der zweite die entsprechenden Brennpunktsametropien, daher auch das Korrektionsglas angiebt, das, im vorderen Brennpunkte des Auges angebracht, die zugehörige Hauptpunktsametropie ausgleicht. Für die meisten praktischen Zwecke kann man ja das Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte des (linsenhaltigen) Auges befindlich annehmen.

Der Tabelle sind die Werte des neueren Helmholtz'schen schematischen Auges zu Grunde gelegt; der Abstand des vorderen Brennpunktes vom vorderen Hauptpunkte ist = 15 mm angenommen. Die allgemeine Formel zur Berechnung ist: $A_h = \frac{1000\,A_f}{1000 + 15\,A_f}$. Eine Hauptpunktsmyopie von 18 Dioptrien wird nach der Tabelle also korrigiert durch ein im vorderen Brennpunkte befindliches Konkavglas von 25 Dioptrien; eine Hauptpunktshypermetropie von ca. 9 Dioptrien erfordert ein Glas von + 8 Dioptrien im vorderen Brennpunkte. Die Differenzen zwischen Korrektionsglas und Ametropiegrad würden natürlich noch größer sein für auf die Knotenpunkte bezogene Ametropie; so würde z. B. eine Knotenpunktsmyopie von 18 Dioptrien ein im vorderen Brennpunkte befindliches Glas von — 29 Dioptrien zur vollen Korrektion erfordern; eine H_k = 16 Dioptrien verlangt ein Glas von + 12 Dioptrien im vorderen Brennpunkte.

M_h	M_f	M_h	M_f	H_h	H_f	H_h	H_f
0,98	1	12,90	16	1,01	1	21,05	16
1,94	2	13,55	17	2,06	2	22,82	17
2,87	3	14,18	18	3,14	3	24,66	18
3,77	4	14,79	19	4,25	4	26,57	19
4,65	5	15,38	20	5,40	5	28,57	20
5,50	6	15,85	21	6,59	6		
6,33	7	16,41	22	7,82	7		
7,14	8	16,96	23	9,09	8		
7,92	9	17,49	24	10,40	9		
8,69	10	18,02	25	11,76	10		
9,43	11	18,52	26	13,17	11		
10,17	12	19,04	27	14,63	12		
10,86	13	19,53	28	16,15	13		
11,64	14	20,01	29	17,72	14		
12,28	15	20,48	30	19,35	15		

Litteratur.

(Ein Teil der im vorstehenden Abschnitte erwähnten Werke findet sich im Litteraturverzeichnis zu den Abschnitten 8 und 11 aufgeführt.)

1710. Hawksbee, A description of an apparatus for making experiments on the refraction of fluids etc. Philos. Transact.

1723. Petit, Mémoire sur les yeux gelés, dans lequels on détermine la grandeur des chambres qui renferment l'humeur aqueuse. Mém. de l'Acad. des sciences de Paris.

1728. Petit, Différentes manières de connaître la grandeur des chambres de l'humeur aqueuse dans les yeux de l'homme. Hist. de l'Acad. des sciences.

1730. Petit, Mémoire sur le cristallin de l'oeil de l'homme, des animaux à quatre pieds, des oiseaux et des poissons. Mém. de l'Acad. des sciences.

1796. Home and Ramsden, Philos. Transact. S. 2.

1801. Young, Th., On the mechanism of the eye. Phil. Transact.

1802. Wollaston, A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection. Philos. Transact.

1818. Chossat, Sur le pouvoir réfringent des milieux de l'oeil. Ann. de chim. et de phys. VIII. S. 217.

Chossat, Mémoire sur la courbure des milieux réfringents de l'oeil chez le boeuf. Ann. de chim. et de phys. X.

1819. Brewster, Experiments on the structure and refractive power of the coats and humours of the human eye. Edinburgh philos. Journ.

1834. Krause, C., Über die gekrümmten Flächen der durchsichtigen Teile des Auges. Pogg. Ann. XXXI. (Fortsetzung: XXXIX. 1836.)

1840. Cahours et Becquerel, Sur le pouvoir réfringent des liquides. Ann. de chim. et de phys. XI.

Kohlrausch, Über die Messung des Radius der Vorderfläche der Hornhaut am lebenden menschlichen Auge. Isis. S. 886.

1841. Kohlrausch, Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges. Berlin. S. 16.

1845. Listing, Beitrag zur Physiologischen Optik.

1846. Senff, Handwörterbuch der Physiologie. III. S. 271.

1847. Brücke, Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels.

1849. Bertin, Sur la mesure des indices de refraction des lames transparentes et des liquides à l'aide du microscope ordinaire. Ann. de chim. et de phys. XXVI. S. 288.

Forbes, Note respecting the dimensions and refracting power of the eye. Proc. Royal soc. of Edinb.

1852. Ryba, Über die Prüfung des Brechungsvermögens durchsichtiger Körper durch Mikroskop ohne direkte Winkelmessungen. Prager Vierteljahresschrift.

1853. Listing, Zur Dioptrik des Auges. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. IV.

1854. Thomas, Beiträge zur Kenntnis der Struktur der Krystalllinse in den Augen der Wirbeltiere. Prager Vierteljahresschrift.

1855. Helmholtz, Über die Akkommodation des Auges. Arch. f. Ophth. I, 2. S. 3

Krause, Die Brechungsindices der durchsichtigen Medien des menschlichen Auges. Hannover.

1857. v. Zehender, Über die Brewster'sche Methode zur Bestimmung der Brechungsexponenten flüssiger und festweicher Substanzen. Arch. f. Ophth. III, 2. S. 99.

1858. Knapp, H., Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges. Habilitationsschrift. Heidelberg.

1860. Knapp, Über die Lage und Krümmung der Oberflächen der menschlichen Krystalllinse und den Einfluss ihrer Veränderungen bei der Akkommodation auf die Dioptrik des Auges. Arch. f. Ophth. VI, 2. S. 1.
Becker, O., Über die Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge. Wiener med. Wochenschr. S. 670 u. 684.
1863. Middelburg, De Zitplaats van het Astigmatisme. Utrecht.
1865. Mandelstamm, Zur Ophthalmometrie. Arch. f. Ophth. XI, 2. S. 259.
Rosow, Zur Ophthalmometrie. Arch f. Ophth. XI, 2. S. 129.
1866. Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation.
1869. Cyon, Die Brechungsquotienten des Glaskörpers und des Humor aqueus. Wiener Berichte. LIX. 2. S. 101.
Reuss und Woinow, Ophthalmometrische Studien. Wien.
Strawbridge, Ophthalmometrische Messungen der Linse. Sitzungsberichte d. ophth. Ges. in Heidelberg.
Woinow, Über den Winkel α. Klin. Monatsbl. VII. S. 482. Wiener med. Presse. No. 34—37.
1870. Woinow, Weitere Beiträge zur Kenntnis des Winkels α. Arch. f. Ophth. XVI. S. 225.
1871. Woinow, Ophthalmometrie. Wien.
1872. Coccius, Ophthalmometrie und Spannungsmessung am kranken Auge. Leipzig.
Fleischer, Neue Bestimmung der Brechungsexponenten der durchsichtigen, flüssigen Medien des Auges. Inaug.-Diss. Jena.
Mandelstamm und Schöler, Eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Konstanten des Auges. Arch. f. Ophth. XVIII.
Gama Lobo, Un nouveau moyen pour mesurer la distance de la cornée à la face postérieure du cristallin. Congr. ophth. internat. de Londres. Compte rendu. S. 146.
Heuse, Über die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung. Arch. f. Ophth. XVIII, 2. S. 236.
Woinow, Ophthalmometrische Messungen an Kinderaugen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 280.
Hällstén, Lärobok i Oftalmometri. Helsingfors.
1873. Ferge, Ein neues Instrument zur Bestimmung des Durchmessers der Hornhautbasis und der Pupillenenge. Leipzig.
Landolt, Achsenlänge und Krümmungsradius des Auges. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 473.
Landolt und Nuël, Versuch einer Bestimmung des Knotenpunktes für excentrisch in das Auge fallende Lichtstrahlen. Arch. f. Ophth. XIX.
1874. Abbe, Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena.
Hirschberg, Zur ophthalmometrischen Rechnung. Arch. f. Augenheilk. III, 2. S. 160.
Hirschberg, Über Bestimmung der Brechungsindices der flüssigen Augenmedien. Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 13 u. 50.
Hirschberg, Über Prof. Laqueur's Ophthalmomikrometer und über eine objektive Methode zur Messung des totalen Brechungsvermögens der Krystalllinse und der Achsenlänge des lebenden Auges. Centralbl. f. d. med. Wissensch.
Reich, Resultate einiger ophthalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen. Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 207.
Stammeshaus, Über die Lage der Netzhautschale zur Brennfläche des dioptrischen Systems des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth. XX. S. 147.
Snellen und Landolt, Ophthalmometrie. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe u. Saemisch. I. Aufl.

1874. Woinow, Über die Brechungskoeffizienten der verschiedenen Linsenschichten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XII. S. 407.

Hermann, L., Über schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse. Pogg. Ann. S. 153.

1875. Becker, O., Pathologie und Therapie des Linsensystems. Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe u. Saemisch. 1. Aufl.

1876. Mauthner, Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. Wien.

Matthiessen, Über den Aplanatismus der Hornhaut. Arch. f. Ophth. XXII, 3.

Matthiessen, Von der Berechnung des absoluten Brechungsindex des Kerncentrums der Krystalllinse. Arch. f. Ophth. XXII.

Bernstein, Über die Ermittelung des Knotenpunktes im Auge des lebenden Menschen. Monatsber. d. Berliner Akademie. August.

1877. Schön, Brechung seitlich einfallender Strahlen in der Linse. Ophth. Gesellsch. Heidelb. u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 178. Arch. f. Anat. u. Phys. S. 146.

v. Reuss, Untersuchungen über die optischen Konstanten ametropischer Augen. Arch. f. Ophth. XXIII.

v. Zehender und Matthiessen, Über die Brechungskoeffizienten kataraktöser Linsensubstanz. Klin. Monatsbl. S. 239.

v. Zehender, Matthiessen und Jacobson, Über die Brechungskoeffizienten und die chemische Beschaffenheit kataraktöser Linsensubstanz. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 311.

1878. Nagel, Die Bestimmung der Sehachsenlänge am lebenden Auge. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 100.

Horstmann, Beiträge zur Bestimmung der Tiefe der vorderen Kammer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.

1879. Horstmann, Über die Tiefe der vorderen Augenkammer. Arch. f. Ophth. XXV.

Fick, Zur Periskopie des Auges. Pflüger's Arch. XIX. S. 145.

Schön, Bemerkungen über die Dioptrik der Krystalllinse und die Periskopie des Auges. Arch. f. Anat. u. Physiol. Supplementband.

Hering, Raumsinn und Bewegungen des Auges. Hermann's Handb. d. Physiol. III.

Rasmus und Wauer, Mathematische Theorie der Periskopie des menschlichen Auges. Pflüger's Arch. XX.

Matthiessen, Geometrische Gestaltung der Retina des periskopischen, schematischen Auges. Arch. f. Ophth. XXV, 4. S. 257.

Matthiessen, Differenzialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse. Pflüger's Arch. XIX.

v. Hasner, Das mittlere Auge u. s. w. Prag.

Peschel, Berechnung der Kardinalpunkte des mittleren Auges. Centralbl. f. Augenheilk.

Peschel, Experimentelle Untersuchungen über die Periskopie der Krystalllinse. Pflüger's Arch. XX. S. 338.

1880. Blix, Oftalmometriska Studier. I. Acad. Afh. Upsala. XVI, 6. S. 349.

Croullebois, Sur la grandeur et les variations des images de Purkinje. Comptes rendus. XCII. S. 73.

1880. Fleischl, Über eine optische Eigenschaft der Cornea. Wiener Sitzgs-Ber. LXXXII, 3.

v. Reuss, Ophthalmometrische Mitteilungen. Arch. f. Ophth. XXVI. 3. S. 1

Sczelkow, Zur Frage über die Veränderungen der Hornhautkrümmung bei zunehmendem Alter. Centralbl. f. d. med. Wissensch. XVIII No. 44. S. 819.

1881. Hermann, L., Über Brechung bei schiefer Incidenz mit besonderer Berücksichtigung des Auges. Arch. f. d. ges. Physiol. Bonn XXVII. S. 291

Javal et Schiötz, Un ophtalmomètre pratique. Ann. d'Ocul. LXXXVI. S. [illegible]

1881. Javal, Mesure du rayon des courbures de la cornée. Séance de la soc. de phys. S. 59.

v. Reuss, Untersuchungen über den Einfluss des Lebensalters auf die Krümmung der Hornhaut nebst einigen Bemerkungen über die Dimensionen der Lidspalte. Arch. f. Ophth. XXVII. S. 27.

Schön, Der Aplanatismus der Hornhaut. Festschrift f. Horner. Wiesbaden. S. 12.

1882. Blix, M., Nya bidrag till oftalmometriens utveckling. Upsala Läkaref. Förh. XVII. S. 98.

Matthiessen, Über die Beziehungen, welche zwischen dem Brechungsindex des Kerncentrums der Krystalllinse und den Dimensionen des Auges bestehen. Pflüger's Arch. XXVII.

1883. Matthiessen, Über den schiefen Durchgang unendlich dünner Strahlenbündel durch die Krystalllinse des Auges. Pflüger's Arch. XXXII.

Badal, Verres périscopiques et cônes de Steinheil. Ann. d'Ocul. LXXXIX. S. 19.

Boys, Measurement of curvature and refractive index. Philos. Mag. XIV. Ref. in Wiedemann's Beibl. VII. S. 103.

Burnett, Swan M., Refraction in the principal meridians of a triaxial ellipsoid, with remarks on the correction of astigmatism by cylindrical glasses and an historical note on corneal astigmatism. With a communication of the monochromatic aberration of the human eye in aphakia. Arch. of Ophth. XII, 1. S. 1.

Burnett, Character of the focal lines in astigmatism. Arch. of Ophth. XII. S. 310.

Clifton, On the measurement of the curvature of lenses. Philos. Society of London. Ref. in Rev. gén. d'Ophth. S. 536.

Javal, Troisième contribution à l'ophtalmométrie. Description de quelques images kératoscopiques. Ann. d'Ocul. LXXXIX. S. 5.

Javal, Les yeux décentrés. Gaz. des Hôp. S. 486.

Javal, Déformation cristallinienne et cornéenne dans l'accommodation. Soc. de Biol.

Javal, Quatrième contribution à l'ophtalmométrie. Ann. d'Ocul. XC. S. 105.

Leroy, C. J. A., Quelques considérations sur les variations du diamètre de l'image sensible d'un point lumineux. Arch. d'Ophth. S. 245.

Leroy, C. J. A., Les lignes focales, dans la réfraction oblique par une sphère, et la théorie de Sturm. Rev. gén. d'Ophth. No. 11.

Newall, Internal reflexions in the eye. Proc. Royal Soc. XXXIV. S. 473.

1884. Ehrnrooth, M., Zur Frage über die Lage der Gesichtslinie und die Centrierung der brechenden Flächen im Auge. Arch. f. d. ges. Physiol. XXXV. S. 390.

Matthiessen, L., Die Brennlinien eines unendlich dünnen astigmatischen Strahlenbündels nach schiefer Incidenz eines homocentrischen Strahlenbündels in eine krumme Oberfläche und das Strahlenconoid von Sturm und Kummer. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX, 2. S. 141.

Matthiessen, Über die radiale Ausdehnung des Sehfeldes und die Allometropie des Auges bei indirektem Sehen. Arch. f. Ophth. XXX, 1. S. 91.

Matthiessen, L., Über den physikalisch-optischen Bau des Auges von Felis leo fem. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXV. S. 68.

Schoeler, Bestimmung des physikalischen Baues des Auges. Arch. f. Ophth. XXX, 3. S. 301.

Schön, Beiträge zur Dioptrik des Auges. Leipzig. 1884.

Uhthoff, Über eine neue Methode den Winkel α resp. γ zu bestimmen. Sitzungsber. d. Heidelberger Ophth. Ges. S. 96.

Leroy, De la kératoscopie ou de la forme de la surface cornéenne déduite des images apparentes réfléchies par elle. Arch. d'Opht. S. 140.

1884. Weidlich, Joh., Zur Berechnung der Zerstreuungskreise in ametropischen Augen. Arch. f. Augenheilk. XIV. S. 442.

1885. Aubert, E., Nähert sich die Hornhautkrümmung am meisten der Ellipse? Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXV. S. 597.

Bourgeois et Tscherning, Recherches sur les relations qui existent entre la courbure de la cornée, la circonférence de la tête et de la taille. Ann. d'Ocul. XCVI. S. 203.

Javal, Mensuration de la courbure de la cornée. Gaz. des Hôp. S. 1011.

Laurent, Über einen Apparat, die Krümmung der Oberflächen und die Brechung der Linsen zu kontrollieren. Comptes rendus. S. 903. Ref. in Wiedemann's Beibl. IX. S. 627.

Leroy, C. J. A., Des diverses manières de représenter le pinceau astigmate. Le theorème de Sturm et les considérations de Matthiessen. Rec. d'Opht. S. 145.

Liebisch, Neuere Apparate für die Wollaston'sche Methode zur Bestimmung der Brechungsindices. Zeitschr. f. Instrumentenk. V. S. 13.

Matthiessen, L., Über das Gesetz der Zunahme der Brechungsindices innerhalb der Krystalllinsen der Säugetiere und Fische. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXI, 2. S. 31.

Matthiessen, L., Über Begriff und Auswertung des sogenannten Totalindex der Krystalllinse. Pflüger's Arch. XXXVI. S. 72.

Matthiessen, L., Über den physikalisch-optischen Bau des Auges der Vögel. Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 104.

Monoyer, Formules générales des systèmes dioptriques centrés. Comptes rendus. XCVII, 2. S. 88.

Pfalz, Ophthalmometrische Untersuchungen über Cornealastigmatismus mit dem Ophthalmometer von Javal und Schiötz. Arch. f. Ophth. XXXI, 1. S. 201.

1886. Egorow, Über den Knotenpunkt des Auges (O glasnom uslje). Diss. Kazan.

Matthiessen, L., Über den physikalisch-optischen Bau des Auges der Cetaceen und der Fische. Pflüger's Arch. XXXIX. S. 204.

Matthiessen, L., Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. S. 1.

Matthiessen, L., Die lichtbrechende Kraft der Krystalllinse des Tierauges u. s. w. Sitzungsber. d. naturf. Ges. zu Rostock. S. 12.

Schiötz, Aufzeichnung der optometrischen Untersuchungen. Arch. f. Augenheilk. VI.

Uhthoff, W., Über eine neue Bestimmungsmethode des Winkels γ zwischen der Blicklinie und der durch den Hornhautmittelpunkt gehenden Senkrechten. Klin. Monatsbl. S. 304.

1887. Brockmann, Zur Theorie der dioptrisch-katoptrischen Systeme und ihrer Anwendung auf die Sanson'schen Bilder. Centralztg. f. Optik u. Mech VIII, 1.

Heyl, The visual axis. Transact. 9. internat. med. Kongr. Washington. III.

Matthiessen, L., Über den physikalisch-optischen Bau des Auges von Cervus alces mas. Pflüger's Arch. XL. S. 314.

Matthiessen, L., Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. II. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. V. S. 21 u. 97.

Moennich, Paul, Neue Untersuchungen über das Lichtbrechungsvermögen der geschichteten Krystalllinse der Vertebraten. Pflüger's Arch. XL. S. 397.

Javal, Contribution à l'ophtalmométrie. Ann. d'Ocul. S. 213 u. 1888. S. 33.

Tumlirz, O., Über ein einfaches Verfahren, die Farbenzerstreuung des Auges direkt zu sehen. Pflüger's Arch. XL. S. 394.

1887. Wolf, Max, Ein Versuch zur Berechnung der chromatischen Längenabweichung des menschlichen Auges. Bericht d. 19. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 39.

1888. Exner, S., Über den normalen irregulären Astigmatismus. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIV, 1. S. 1.

Geigel, Robert, Über Reflexion des Lichtes im Innern des Auges und einen neuen Versuch zur Erklärung der Haidinger'schen Strahlenbüschel. Sitzungsber. d. physik.-med. Ges. zu Würzburg. No. 3 und Ann. d. Physik u. Chemie. Neue Folge. XXXIV. S. 347.

Leroy, C. J. A. et R. Dubois, Un nouvel ophtalmomètre pratique. Ann. d'Ocul. XCIX. S. 123.

Leroy, C. J. A. et R. Dubois, Méthode pour déterminer par l'ophtalmomètre l'astigmatisme cornéen. Rev. gén. d'Opht. S. 150.

Leroy, C. J. A. et R. Dubois, Sur la forme de la cornée humaine normale. Comptes rendus hebd. de l'Acad. des sc. de Paris. CVII. No. 18.

Mayerhausen, Notiz zur klinischen Veranschaulichung des Winkels γ. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. VI. S. 123.

Tscherning, Étude sur la position du cristallin de l'oeil humain. Comptes rendus hebd. de l'Acad. des sc. de Paris. CVI. No. 16. S. 1185.

Tscherning, Bidrag til det menneskelige öjes dioptrik. Nordisk oftalmologisk tidsskrift. I. S. 53.

Wolf, Max. Über die Farbenzerstreuung im Auge. Ann. d. Physik u. Chemie. Neue Folge. XXXIII.

1889. Kurz, A., Das schematische Auge des Menschen. Exner's Rep. d. Physik. XXV. S. 587.

Kurz, A., Das Auge und die allgemeine Linse. Exner's Rep. d. Physik. XXV. S. 753.

Leroy, C. J. A., Influence des muscles de l'oeil sur la forme normale de la cornée humaine. Arch. de Physiol. norm. et path. XXI. No. 1.

Leroy, C. J. A., Quelques perfectionnements de l'ophtalmomètre Leroy et Dubois. Rev. gén. d'Opht. S. 111.

Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. Kap. II. Die peripherische Dioptrik für paraxiale Objekte. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. VI. 2. S. 118.

Tscherning, Position du cristallin dans l'oeil humain. Compte rendu de la VII réunion de la soc. franç. d'Opht. und Rev. gén. S. 350.

1890. du Bois-Reymond, C., Keratoskop zur Messung des Hornhautastigmatismus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Sept. S. 257.

Gullstrand, A., Über Brennlinien bei Astigmatismus. Nord. ophth. Tidsskr. III. S. 1—18.

Gullstrand, A., Beitrag zur Theorie des Astigmatismus. Skand. Arch. f. Physiol. II. S. 269.

Matthiessen, Beitrag zur Dioptrik der Krystalllinse. 3. Folge. Wiesbaden. Bergmann.

Meyer, E., Hémisphère antérieur de l'oeil détérminé par la mensuration des courbures de la cornée et de la sclérotique. Ann. d'Ocul. CIII. S. 32.

Sulzer, Méthode pour déterminer le pôle d'un ellipsoïde à trois axes inégaux par l'observation de ses images catoptriques. Gauthier-Villars.

Tscherning, Recherches sur la quatrième image de Purkinje. Arch. de Physiol.

Tscherning, Une nouvelle méthode pour mesurer les rayons de courbure du cristallin. Rev. gén. d'Opht.

Tscherning, De l'influence de l'aberration de sphéricité sur la réfraction de l'oeil. Arch. d'Opht.

1891. Aubert, Die Genauigkeit der Ophthalmometermessungen. Pflüger's Arch. XLIX. S. 626.

1891. Bajardi, Alcune osservazioni sulla forma della cornea. Communicazione fatta al XII. Congresso dell' Associazione Ottalmologica Italiana. Pisa, Settembre 1890.) Ann. di ottalm. XX. S. 285.

Bajardi, Una modificazione all' oftalmometro per misurare contemporaneamente i due meridiani principali della cornea. Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. XXXIX. S. 56.

Bertin-Sans, H., Influence de l'âge sur les indices de réfraction des différentes couches du cristallin. Arch. d'Opht. XII. S. 289.

Priestley Smith, Pathology and treatment of Glaucoma. London, Churchill.

Chibret, Contribution à l'étude de l'astigm. cornéen et total. Rev. gén. d'Opht. S. 289.

Gullstrand, A., Über die gleichzeitige Bestimmung der Refraktion und der Sehschärfe. (Om samtidig bestämning of refraktion och synskärpa.) Nord. med. Arkiv. No. 9816 und Svenska Läkare sällsk. Handl. S. 73.

Javal, Mémoires d'ophtalmométrie. Paris, Masson.

Javal, L'ophtalmométrie clinique. Beiträge z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Festschr. f. H. v. Helmholtz.

Matthiessen, Die neueren Fortschritte in unserer Kenntnis von dem optischen Baue des Auges der Wirbeltiere. Beiträge z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Festschr. f. H. v. Helmholtz.

Ostwald, De la force réfringente de la cornée, de l'ophtalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen. Rev. gén. d'Opht. S. 193.

Tscherning, Sur une nouvelle image à la fois catoptrique et dioptrique de l'oeil humain et une nouvelle méthode pour déterminer la direction de l'axe optique de l'oeil. Bull. soc. franç. d'Opht. S. 203.

Tscherning, Théorie des images de Purkinje et description d'une nouvelle image. Arch. de physiol.

1892. Burnett, The general form of the human cornea and its relation to the refraction of the eye and visual acuteness. Amer. journ. of ophth. August.

Mascart, Sur un réseau oculaire. Compt. rend. Acad. des sc. Paris. CXIII. S. 1001.

Matthiessen, L., Die zweiten Purkinje'schen Bilder im schematischen und im wirklichen Auge. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinne. III, 4.

Matthiessen, L., Beitrag zur Dioptrik der Krystalllinse. 4. Folge. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. VII. S. 145.

Neumann, C., Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems. 2. Aufl. Leipzig, Teubner.

Ostwald, Réfraction de l'oeil fort myope à l'état d'aphakie avec remarques sur les avantages du choix uniforme du foyer antérieur de l'oeil muni du cristallin comme point de départ pour toutes les mesures de la réfraction, même de l'oeil aphake. Rev. gén. d'Opht. S. 1.

Sulzer, La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. Arch. d'Opht. XII. S. 42.

Sulzer, Der Einfluss des Winkels α auf die Resultate der Ophthalmometrie und dessen Bestimmung vermittels des Ophthalmometers. Verhandl. d. 10. internat. med. Kongr. zu Berlin. IV, 2. S. 138.

Tscherning, Beiträge zur Dioptrik des Auges. Zeitschr. f. Psychol. u Physiol. d. Sinnesorgane. III. S. 429.

1893. Baquis, Sopra il fenomeno endottico di Heuse. Ann. di ottalm. XXII. S. 471.

Barbara Burbo, Recherches sur la relation entre la courbure de la sclérotique et celle de la cornée dans le méridien horizontal. Rev. gén. d'Opht. S. 39.

Bertin-Sans, H., Des variations que subissent sous l'influence de l'âge les rayons de courbure du cristallin. Arch. d'Opht. XIII. S. 240.

1893. Bertin-Sans, H., Indices de la réfraction des différentes couches du cristallin chez un homme de 23 ans. Nouveau Montpellier méd. II. S. 93.

Chapman, H. C. and A. P. Brubaker, The radius of curvatures of the cornea. Proc. Acad. Nat. sc. Philadelphia. S. 349.

Dodd, C. W., A new schematic eye, for instructors of physiological optics and for students of the ophthalmoscope. Cincin. med. Journ. VIII. S. 87.

Dodd, C. W., A new schematic eye. Med. Rec. New York. S. 601.

Eriksen, Hornhindemaalinger. Aarhus.

Lauterbach, The value of the ophthalmometer in the determination of the axis and the amount of astigmatism. New York med. Journ. 5. August.

Leroy, Méthode pour mesurer objectivement l'aberration sphérique de l'oeil vivant. Rev. gén. d'Opht. S. 112.

Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. S. 102.

Pulfrich, Die dioptrischen Methoden zur Bestimmung von Brechungsindices und deren Ergebnisse. Encyclop. d. Naturwissensch. v. Winkelmann. III, 1. S. 302.

Tscherning, L'Aberroscope. Arch. d'Opht. XIII. S. 615.

Tscherning, Les sept images de l'oeil humain. Arch. d'Opht. III. S. 49.

1894. Dennett, W. S., Illumination of the Javal and Schiötz ophthalmometer. New York eye and Ear Infirmary Rep. II. S. 27.

Flint, A., The eye as an optical instrument. Pop. Sc. Month. New York. S. 199.

Salzmann, Das Sehen in Zerstreuungskreisen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIX. 2. S. 83 u. XL, 5. S. 102.

Tscherning, L'optomètre de Young et son emploi. Arch. de physiol. Okt.

Vitali, Emilio, Uno sguardo alla diottrica oculare ed agli punti cardinali di ottica fisica da servire d'introduzione all' uso dell' occhio diottrico. Bari. 1893. 29 S.

Tscherning, Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. VI.

1895. Parent, Valeur comparative des procédés objectifs d'optométrie. Bull. et mém. de la Soc. Franç. d'Opht. Paris.

1896. Aschkinass, Spectrobolometrische Untersuchungen über die Durchlässigkeit der Augenmedien für rote und ultrarote Strahlen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XI. S. 44.

Einthoven, Sur les points cardinaux de l'oeil pour les lumières de couleur différente. Arch. néerl. XXIX. S. 346.

Gullstrand, Photographisch-ophthalmometrische und klinische Untersuchungen über die Hornhautrefraktion. Stockholm.

Kunst, De Plaats der cardinale Punkten van het oog voor Strahlen van verschillene Brechbarheid. Geneesk. Tijdschr. voor. Neerl. Ind. XXXVI. S. 21.

Müller Rée, Undersogelser af Ojet met en lysende punct. Kjobenhavn.

Stadfeldt et Tscherning, Une nouvelle méthode pour étudier la réfraction cristallinienne. Arch. de physiol. VIII. S. 669.

Stadfeldt et Tscherning, Die Veränderung der Refraktion nach Extraktion der Linse. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.

1897. Axenfeld, Über den Brechungswert der Hornhaut und der Linse beim Neugeborenen, nebst Bemerkungen über Ophthalmometrie an Leichenaugen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XV. S. 71.

1896. Berlin, E., Über eine Bestimmung des Totalbrechungsindex der Linse am lebenden Auge. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIII. S. 287.

1897. Bode, H., Zur Theorie des Astigmatismus katoptrischer Anamorphosen. Inaug.-Diss. Rostock.

Fukala, Zur Berechnung der Achsenlänge des Auges etc. Wiener med. Wochenschr. S. 283.

Gould, C. M., Law of refraction-change following increase or decrease of body-weight. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-third Ann. Meet. S. 115.

Kerber, A., Beiträge zur Dioptrik. 3. Heft. Leipzig, Fock.

Lohnstein, Th., Über den Brechungsindex der menschlichen Hornhaut. Arch. f. die ges. Physiol. LXVI.

Meyer, W., Über den physikalisch-optischen Bau der Augen von Schaf und Hund. Inaug.-Diss. Rostock.

Ostwald, Beitrag zur Dioptrik des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIV, 3. S. 565.

Strehl, Über die Farbenabweichung der Fernrohrobjektive und des Auges. Zeitschr. f. Instrumentenkunde. XVII, 3. S. 77.

Tscherning, Optique physiologique. Paris.

1898. Hess, Über den Einfluss, den der Brechungsindex des Kammerwassers auf die Gesamtrefraktion des Auges hat. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 274.

Ovio, Sui circoli di diffusione. Ann. di ottalm. XXVIII.

Salomonsohn, Über Lichtbeugung an Hornhaut und Linse (Regenbogenfarbensehen). Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt.

Druault, Note sur la situation des images rétiniennes formées par les rayons très obliques sur l'axe optique. Arch. d'Opht. XVIII. S. 685.

Stadfeldt, Den menneskelige Linses optiske konstanter. Kopenhagen.

Plantenga, De diepte der voorste oogkamer by verschillende refractie en op verschillenden leeftyd. Ned. Tydschr. van Geneesk. I. No. 10.

Heine, Beitrag zur Physiologie und Pathologie der Linse. Arch. f. Ophth. XLVI. S. 525.

1899. Gullstrand, Über die Bedeutung der Dioptrie. Arch. f. Ophth. XLIX. S. 46.

Awerbach, Über die Krümmung der vorderen Hornhautfläche. Westnik ophth. XVI. S. 443.

Druault, Über die Farbenringe, die man normalerweise und bei pathologischen Zuständen um Lichtquellen herum sehen kann. 9. Intern. Ophth. Congress Utrecht.

Holth, Ophthalmometrische Untersuchungen über das menschliche Auge nach dem Tode. Bericht über d. 9. internat. Kongr. Utrecht.

Pfalz, Über physiologische Veränderungen der Hornhautwölbung. Ophth. Klinik. S. 90.

1900. Brudzewski, Beitrag zur Dioptrik des Auges. Arch. f. Augenheilk. XL. S. 296.

1901. Hegg, Eine neue Methode zur Messung der Tiefe der vorderen Augenkammer. Arch. f. Augenheilk. XLIV. Ergänzungsband. S. 84.

1902. Treutler, Einige Bemerkungen zu den schematischen Augen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.

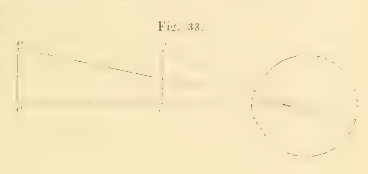
Abschnitt III.

Pupille, Zerstreuungskreise.

§ 39. Die Untersuchung der physischen Helligkeit der von leuchtenden Objekten auf der Netzhaut entworfenen Bilder hat sich zu erstrecken einmal auf das Verhältnis zwischen der Menge des auf das Auge auffallenden und des bis zur Netzhaut gelangenden Lichtes, dann auf den Einfluss der Pupille.

Die Helligkeit der Netzhautbilder leuchtender Flächen ist von der Entfernung der Flächen vom Auge unabhängig, wenn man von der Absorption in den vor dem Auge befindlichen Luftschichten absieht). Diese Helligkeit ist ausgedrückt durch die gesamte ins Auge tretende Lichtmenge, dividiert durch die Fläche des Bildes.

Fig. 33.



Wird das leuchtende Objekt aus der Entfernung *oo* in die doppelte Entfernung $o_1 o$, gerückt, so ist die ins Auge gelangende Lichtmenge ein Viertel so groß wie vorher; die lineare Größe des Netzhautbildes ist im zweiten Falle halb so groß wie im ersten, also die Bildfläche gleichfalls nur ein Viertel so groß. Im ersten Falle verteilt sich also eine 4 mal größere Lichtmenge auf eine 4 mal größere Fläche; jedes Flächenelement erhält daher die gleiche Lichtmenge, solange der Pupillendurchmesser konstant bleibt.

Das Gesetz gilt nicht mehr, wenn es sich um Abbildung punktförmiger Objekte handelt, von welchen ein (angenähert) punktförmiges Bild auf der Netzhaut entworfen wird. In diesem Falle ist die Helligkeit proportional der Pupillenfläche (also dem Quadrate des Pupillendurchmessers) und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung.)

Unter der Bezeichnung »Helligkeit« schlechtweg verstehen wir hier die objektive Helligkeit, die von der subjektiven, dem Anschauungsbilde, d. i. der Empfindung zukommenden, streng zu unterscheiden ist. Erstere wird wohl auch als »physische Helligkeit« oder als »Lichtstärke« des Netzhautbildes bezeichnet. Auf die subjektive Helligkeit sind eine Reihe physiologischer Faktoren von Einfluss, wie der Adaptationszustand des Sehorgans an der belichteten Stelle selbst, sowie sein Zustand an den benachbarten Teilen u. s. w., worauf hier nicht näher eingegangen werden kann (vgl. § 49).

§ 40. Bei Abbildung leuchtender Objekte auf der Netzhaut empfängt nicht nur die Netzhautstelle Licht, zu welcher nach der üblichen geometrischen Konstruktionsweise des Bildes Strahlen vom Objekte gelangen, sondern auch die nähere und weitere Umgebung kann dabei von nicht unbeträchtlichen Lichtmengen getroffen werden:

a) Das von hellleuchtenden Objekten auf Iris und Sclera fallende Licht wird von diesen und der dahintergelegenen Pigmentschicht nicht vollständig absorbiert; da es keiner regelmäßigen Brechung unterliegt, wird es über den ganzen Augenhintergrund zerstreut.

Eine annähernde Vorstellung von der Menge des durch die Sclera fallenden Lichtes kann man durch folgenden Versuch erhalten: man lege sich in den cocainisierten Bindehautsack eine durchsichtige dünne Glasschale von der Form der gewöhnlichen künstlichen Augen, an deren Innenfläche eine aus Staniol gefertigte, undurchsichtige Scheibe von ca. 18 mm Durchmesser so befestigt ist, dass sie die Hornhaut allseitig deckt und ihren Rand noch um einige mm überragt, so dass nur durch die Sclera Licht auf die Netzhaut gelangen kann. Man nimmt dann das Licht einer im dunklen Zimmer mehrere Meter weit entfernten Kerze noch deutlich als einen schwachen, über den Hintergrund ziemlich gleichmäßig ausgebreiteten Schein wahr.

b) Von den nach der Pupille gerichteten Lichtstrahlen wird ein Teil an den zelligen Elementen der Hornhaut und insbesondere der Linse zerstreut. Die seitliche Beleuchtung beider mit intensivem Lichte zeigt, dass die hier zerstreuten Lichtmengen nicht ganz gering sind.

c) Ferner wird ein Teil des einfallenden Lichtes durch Beugung am Pupillenrande abgelenkt.

d) Durch mehrfache (regelmäßige) Reflexionen an beiden Hornhaut- und beiden Linsenflächen entsteht eine Reihe von Bildern von der Art der auch bei photographischen Objektiven bekannten und dort als »katadioptrische Nebenbilder« bezeichneten.

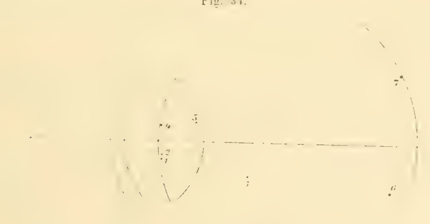
Befinden diese letzteren sich nahe bei dem bildauffangenden Schirme, so bedingt ihr Licht auf diesem die sogenannten »Spiegelflecke«, während bei größerem Abstande vom Schirm das Licht der Nebenbilder sich mehr gleichmäßig über den Hintergrund ausbreitet. Im menschlichen Auge kommen wesentlich zwei solche Nebenbilder in Betracht. Das eine ist umgekehrt und kommt dadurch zustande, dass die an der Hinterfläche der Linse reflektierten Strahlen an der Vorderfläche der Hornhaut eine zweite Reflexion erleiden; die Strahlen vereinigen sich zu einem Bilde, das im allgemeinen der Netzhaut ziemlich nahe liegt und daher unschwer wahrgenommen werden kann. Es ist zuerst von Coccius beobachtet, von O. Becker richtig erklärt, später von Heuse, Geigel und von Tscherning wieder untersucht worden.

Geigel berechnet, dass dieses Bild auf die Netzhaut fallen würde, wenn der leuchtende Punkt sich $3^1/_2$ cm vor der Hornhaut befände.

Heuse beschreibt die Erscheinung mit folgenden Worten: »Wenn ich eine Kerzenflamme in einiger Entfernung von der rechten Seite meines rechten Auges auf- und abbewegte, so bemerkte ich auf der linken Seite konstant einen Schein, der sich der Kerzenflamme entgegengesetzt bewegte. Brachte ich die Flamme auf ungefähr 8 Zoll Entfernung vor das Hornhautcentrum und etwa 4 Zoll seitlich, so entwickelte sich aus dem Schein ein deutliches, umgekehrtes, vergrößertes und lichtschwaches Bild der Kerzenflamme.

Das zweite Nebenbild kommt durch Reflexion der von der Linsenvorderfläche zurückgeworfenen Strahlen an der Hornhautvorderfläche zustande. Damit das Bild auf die Netzhaut fiele, müsste der leuchtende Objektpunkt nach einer Berechnung von Geigel 3 mm hinter der Hornhaut liegen. Tscherning hat seinen Ort für parallel einfallendes Licht berechnet und ihn = 6,7 mm gefunden; das Bild liegt also nahe der Linsenhinterfläche und muss wegen seines beträchtlichen Abstandes von der Netzhaut auf dieser einen großen Zerstreuungskreis hervorrufen, der aber so lichtschwach ist, dass er im allgemeinen nicht wahrgenommen wird. (An einem künstlichen Auge konnte Tscherning dieses Bild beobachten.) Die durch doppelte Reflexion an einer der Linsenflächen und an der hinteren Hornhautfläche entstehenden Bilder sind so lichtschwach, dass sie außer acht gelassen werden können.

Fig. 34.



Das beifolgende Schema nach Tscherning zeigt die Lage der durch Brechung und Spiegelung im Auge entstehenden Bilder für ein in unendlicher Entfernung 20° nach unten von der Augenachse gelegenes Objekt. 1 und 2 sind die durch (einmalige) Reflexion an der Vorder- bezw. Hinterfläche der Hornhaut entstehenden Bilder; sie liegen angenähert in der Pupillenebene, ebenso wie 4, das durch

Reflexion an der Linsenhinterfläche entstehende (zweite Purkinje'sche) Bild. 3 ist das durch Reflexion an der Linsenvorderfläche entstehende (sog. erste Purkinje'sche) Bild. Es liegt etwa 7 mm hinter der Pupillenebene und verschwindet daher bei Änderung der Blickrichtung des Beobachteten leicht hinter dem Pupillenrande. 5 und 6 sind die oben besprochenen Nebenbilder, 7 ist das Hauptbild des leuchtenden Punktes.

Die den Bildern 1, 2, 3 und 4 zugehörigen Strahlen gehen für das Netzhautbild verloren, da sie nach der Reflexion wieder aus dem Auge aus- bezw. (bei Reflexion an der vorderen Hornhautfläche) gar nicht in dieses eintreten.

Das vorher erwähnte diffuse Licht und die von 5 ausgehenden Strahlen legen sich wie ein zarter Schleier über einen großen Teil der Netzhaut.

Die Menge des an jeder einzelnen Fläche reflektierten Lichtes hängt ab von dem relativen Brechungsindex der betreffenden Medien; die Intensität des reflektierten Strahles kann, wenn die des einfallenden = 1 gesetzt wird, nach der Fresnel'schen Formel $A = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$ berechnet werden. Da im Auge nur eine Reflexion an einem Medium mit hohem relativem Index erfolgt (Hornhaut = 1,3763), dagegen die anderen spiegelnden Flächen nur einen sehr kleinen relativen Index haben (Kammerwasser-Linse = 1,07), so ist der Lichtverlust durch Reflexion am Auge verhältnismäßig gering. Tscherning berechnet die Menge des Lichtes für das Netzhaut-Hauptbild zu 0,9736 der einfallenden. Diese Zahl ist aber zu hoch, weil bei ihrer Berechnung auf das durch Diffusion und Reflexion an den zelligen Elementen von Hornhaut, Linse und Glaskörper verlorene Licht keine Rücksicht genommen ist. Danach ist auch der Tscherning'sche Schluss nicht zutreffend, dass das Auge, was die Verteilung des Lichtes angehe, allen dioptrischen Instrumenten und selbst einer einfachen Glaslinse überlegen sei, für die das nützliche Bild nur 0,92 der ursprünglichen Lichtstärke besitze; denn für diese fällt der Lichtverlust durch Reflexion und Diffusion an den zelligen Elementen weg.

§ 11. Die Begrenzung der für das Zustandekommen des Bildes in Betracht kommenden Strahlen erfolgt in beliebigen optischen Systemen durch an geeigneter Stelle angebrachte (meist kreisförmige) Blenden.

Maßgebend für die Größe des in das optische System eintretenden, bezw. aus ihm austretenden Strahlenbüschels sind die Bilder, die von der betreffenden wirklichen Blende durch das System nach der Objekt- bezw. nach der Bildseite hin entworfen werden. Diese Bilder der wirklichen Blenden bezeichnen wir nach Abbe als Eintritts- bezw. Austrittspupille.

Im Auge stellt die Iris mit der Pupille eine derartige Blende dar; die Hornhaut entwirft von ihr, wie wir sahen, ein um $^1/_8$ vergrößertes und um ca. 0,57 mm nach vorn verschobenes Bild; dieses stellt die Eintrittspupille dar.

Ähnlich entwirft hinter der Iris die Linse ein Bild von der wirklichen Pupille, die Austrittspupille. Lage und Größe der letzteren berechnen sich in gleicher Weise, wie für die Eintrittspupille; es ergiebt sich, dass dieses Linsenbild der Pupille bei Akkommodationsruhe etwa 0,112 mm hinter der

wirklichen Pupille liegt und etwa $^1/_{18}$ größer ist als diese. Bei Akkommodation auf einen ca. 15 cm vor dem ersten Hauptpunkte gelegenen Punkt liegt das Bild 0,092 mm hinter dem (um 0,4 mm nach vorn gerückten) Linsenscheitel. Bei einer Achsenlänge des Auges = 22,823 mm würde das Linsenbild der Pupille in Akkommodationsruhe 19,111 mm von der Netzhaut entfernt sein, im akkommodierenden 19,531 mm. Der Ort der Pupille ist dabei wieder wie früher mit dem des Linsenscheitels zusammenfallend angenommen.)

Für viele Berechnungen kann man diese geringen Differenzen vernachlässigen und den Ort der Pupillenbilder mit dem der wirklichen Pupille zusammenfallend annehmen. Für das (Donders'sche) reduzierte Auge pflegt man den Ort der Pupille in den Scheitel der brechenden Fläche zu verlegen; ihr Abstand von der Netzhaut = 20 mm entspricht dann für viele Zwecke genügend genau dem für das schematische Auge berechneten.

§ 42. Die Austrittspupille ist somit das Bild, welches von der Eintrittspupille durch die brechenden Medien des Auges entworfen wird.

Die Größe der Eintrittspupille ist maßgebend für die Größe des bilderzeugenden Strahlenkegels. Alle Strahlen, die vor der Brechung durch die Hornhaut nach einem Punkte des Pupillenbildes gerichtet sind, sind nach der Brechung in der Hornhaut auf den entsprechenden Punkt der Pupille selbst gerichtet und kommen nach der Brechung in der Linse von dem entsprechenden Punkte der Austrittspupille. Die von einem bestimmten Objektpunkte nach der Mitte der Eintrittspupille gezogenen Strahlen werden bei optischen Instrumenten vielfach »Hauptstrahlen« genannt. Sie entsprechen der »Visierlinie« im Auge (s. o.). Der Mittelpunkt der Eintrittspupille ist somit der Kreuzungspunkt der Visierlinien und diese Linien stellen jeweils den Leitstrahl des einfallenden Strahlenbündels dar.

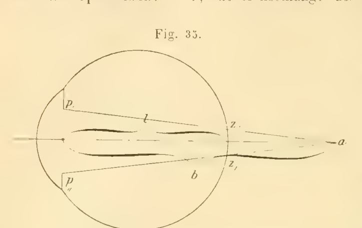
Wir nehmen für die folgenden Betrachtungen zunächst wieder an, dass sowohl die Pupille als die brechenden Medien auf der Augenachse centriert seien, und dass die optische Achse mit der Hauptvisierlinie zusammenfalle. In wie weit diese Annahme von den thatsächlichen Verhältnissen abweicht und welchen Einfluss diese Abweichung auf das Sehen hat, wurde zum Teile schon oben erörtert (s. § 33).

Wenn das Bild eines Objektpunktes nicht genau in die Ebene der lichtempfindenden Netzhautschichten fällt, also bei nicht genauer Einstellung des Auges, entstehen auf der Netzhaut Zerstreuungsfiguren, deren Form im allgemeinen (bei sphärischen brechenden Flächen) jener der Pupille entspricht, also angenähert kreisrund erscheint, weshalb sie gewöhnlich nur Zerstreuungskreise heißen. Im centrierten Auge liegen sie koncentrisch um den betreffenden Hauptstrahl, für auf der Achse liegende Objektpunkte koncentrisch um diese. Für das reduzierte Auge, in welchem die vereinigte Ein- und Austrittspupille in der

Ebene des Hornhautscheitels liegend angenommen wird, so dass ihr Abstand von der Netzhaut gleich der hinteren Brennweite des Auges ist, lässt sich die Größe der Zerstreuungskreise in folgender Weise berechnen:

Der gesuchte Durchmesser des Zerstreuungskreises $z_, z_{,,}$ sei z, der Durchmesser $p_, p_{,,}$ der Pupille $= p$, der Abstand des Bildpunktes $a_{,,}$ von der Pupillenebene $= b$, die Achsenlänge des Auges $= l$. Aus den Dreiecken $z_, z_{,,} a_{,,}$ und $p_, p_{,,} a_{,,}$ ergiebt sich $\frac{z}{p} = \frac{b - l}{b} = 1 - \frac{l}{b}$.

Fig. 35.



In der Gleichung $B = A + D$ war die reduzierte Convergenz des gebrochenen Strahlenbündels $B = \frac{n}{b}$; ist l die wahre Achsenlänge, so ist die reduzierte Achsenlänge $\lambda = \frac{l}{n}$; durch Einsetzen dieser Werte in unsere Gleichung erhalten wir $z = p\,(1 - \lambda B)$. Drücken wir B durch A und D aus, so wird

$$z = p\,(1 - \lambda D - \lambda A) \quad \text{. . . . .} \quad (24$$

Diese Formel wurde zuerst von v. Graefe unter Benutzung der Brennweiten gegeben in der Form $z = p\left(1 - \frac{l}{f_{,,}} + \frac{l}{n\,a}\right)$, (wobei die Objektabstände ($= a$) nach links, die Bildabstände nach rechts von den zugehörigen Hauptpunkten positiv gerechnet wurden).

So würden z. B. auf der Netzhaut eines Auges, das auf einen 14 cm vor dem vorderen Brennpunkte eingestellten Punkt akkommodiert, bei einem Pupillendurchmesser von 4 mm (unter Zugrundelegen des Helmholtz'schen Auges (von einem:

	12, bezw.	10,	8,	6,	4,	2,	1	cm vor dem v. Brenn. gelegenen Punkte
Zerstr.kreise v.	0,0632, bezw.	0,1474,	0,2674,	0,4514,	0,7763,	1,455,	2,214	mm Durchm. entworfen

Ist das Auge auf einen im Abstande a befindlichen Punkt eingestellt, für den $D = B - A$ ist, so gilt für einen anderen Punkt $a_,$ die Gleichung

$$D = B_, - A_, \text{ also } \frac{z}{p} = 1 - \lambda A_, - \lambda D = 1 - \lambda A_, - \lambda B + \lambda A.$$

Da das Auge auf den Punkt a eingestellt ist, also sein Bild auf der

Netzhaut liegt, so ist $B = \frac{1}{\lambda}$, daher $z = p\,\lambda\,(A - A_r)$; bezeichnen wir die Differenz $A - A_r$ mit $\triangle$, so ist

$$z = p\,\lambda\,\triangle \qquad (25)$$

Diese Gleichung ist (in ähnlicher Form) zuerst von Salzmann (1894) gegeben und diskutiert worden: $\triangle$ bezeichnet den in Dioptrien ausgedrückten Einstellungsfehler, mit dem ein auf a eingestelltes Auge den Punkt a_r sieht, d. h. die zum Deutlichsehen von a_r nötige Akkommodationsleistung. Die Formel besagt, dass der Zerstreuungskreis dem Akkommodationserfordernis (= dioptrischen Einstellungsfehler), dem Pupillendurchmesser und der reduzierten Achsenlänge direkt proportional ist. Für ein auf ∞ eingestelltes Auge ist $A = 0$, also $z = p\,\lambda\,(-A_r)$.

Schreiben wir die Gleichung $z = p\,(1 - \lambda\,D - \lambda\,A)$ in der folgenden Form: $\frac{z}{p} = \lambda\,(-A) + (1 - \lambda\,D)$, so ergiebt sich für die Beziehungen zwischen Objektsentfernung und Zerstreuungskreis folgendes:

1. Wenn $\lambda\,D = 1$ ist, so wird $z = p\,\lambda\,(-A)$, der Zerstreuungskreis ist der Objektsentfernung proportional. Die Beziehung $\lambda\,D = 1$ drückt aus, dass das Auge auf parallele Strahlen eingestellt ist, denn dann ist $D = \frac{1}{\lambda}$; dabei ist es einerlei, ob dies in einem Auge mit normaler Achsenlänge und normalem brechendem Apparate, oder in einem abnorm kurzen Auge durch (akkommodative) Erhöhung der Brechkraft geschieht.

2. Wenn $\lambda\,D < 1$ ist, so wird $\frac{z}{p} = \lambda\,(-A) + N$, worin N einen echten Bruch darstellt: daraus folgt, dass der Zerstreuungskreis bei wachsendem A, d. i. zunehmender Annäherung des Objektes langsamer wächst, als die Entfernung abnimmt; die Beziehung $\lambda\,D < 1$ drückt aus, dass das Auge auf einen in endlicher Entfernung hinter demselben gelegenen Punkt eingestellt ist, denn es ist dann $D < \frac{1}{\lambda}$ (daher $1 - \lambda\,D > 0$), d. h. die Brechkraft des Systems ist kleiner, als die reduzierte Convergenz des auf der Netzhaut vereinigten Strahlenbündels; auch hier ist der Akkommodationszustand des Auges gleichgiltig, so lange nur $D < \frac{1}{\lambda}$ bleibt.

3. Wenn $\lambda\,D > 1$, so wird $\frac{z}{p} = \lambda\,(-A) - N$. Daraus folgt, dass der Zerstreuungskreis bei Annäherung des Objektes rascher wächst, als die Entfernung abnimmt. Die Beziehung $\lambda\,D > 1$ drückt aus, dass das Auge auf einen in endlicher Entfernung vor ihm gelegenen Punkt eingestellt ist, da

dann $D > \frac{1}{\lambda}$, daher $1 - \lambda D < 0$ ist; es ist gleichgültig, ob diese Einstellung durch Akkommodation oder anderweitige Erhöhung der Brechkraft des optischen Systems, oder durch Achsenverlängerung bedingt ist.

Daraus ergiebt sich folgendes:

1. Bei Annäherung von Objekten wachsen die Zerstreuungskreise für ein auf parallele Strahlen eingestelltes Auge im gleichen Verhältnisse, in welchem die Objektsentfernung abnimmt.

2. Für ein auf endliche Entfernung hinter ihm eingestelltes Auge wachsen die Zerstreuungskreise langsamer.

3. Für ein auf endliche Entfernung vor ihm eingestelltes Auge wachsen die Zerstreuungskreise rascher, als die Objektsentfernung abnimmt.

Da vorher gezeigt wurde, dass die Zerstreuungskreise dem Einstellungsfehler (Refraktions- oder Akkommodationsfehler) direkt proportional sind, so gelten auch für letzteren die gleichen Beziehungen.

Ein Beispiel möge das Gesagte erläutern:

Es sei der Pupillendurchmesser = 4 mm, die reduzierte Achsenlange λ = 15 mm (also $D = 66{,}66$), die Objektsentfernung $a = 20$, bezw. 10 und 5 cm.

Für das emmetropische Auge ist dann $z = 0{,}00006\,(-A)$ meter = $0{,}06\,(-A)$ mm.

Für ein achsenhypermetropisches Auge, für welches $\lambda = 13{,}6$ mm (also $\lambda D = 0{,}9$) sein möge, ist $z = 4\,(0{,}0136\,(-A) + 0{,}1)$ mm.

Für ein Auge, das (bei normaler Achsenlänge) durch Akkommodation auf einen 20 cm vor ihm gelegenen Punkt eingestellt ist, ergiebt sich $z = 0{,}06\,(5 - A)$.

Daraus folgt für diese 3 Fälle:

für einen Objektsabstand	Einstellung auf ∞. z (Größe der Zerstreuungskreise)	Einstellung auf einen ca. 14 cm hinter dem Auge gelegenen Punkt	Einstellung auf einen 20 cm vor dem Auge gelegenen Punkt
$a = 20$ cm	0,3 mm	0,67 mm	0 mm
$a = 10$ cm	0,6 mm	0,94 mm	0,3 mm
$a = 5$ cm	1,2 mm	1,49 mm	0,9 mm.

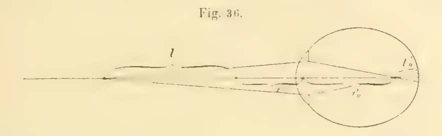
Während in dem auf parallele Strahlen eingestellten Auge die Zerstreuungskreise bei Abnahme der Entfernung auf $^1/_4$ der ursprünglichen um das 4fache gewachsen sind, sind sie im hypermetropischen um wenig mehr als das Doppelte gewachsen, im kurzsichtigen dagegen wesentlich mehr, als in den beiden anderen.

Nach dem vorstehenden ist es denkbar, dass für Augen mit nicht genügend korrigierter Hypermetropie bei Annäherung der Sehobjekte die durch Vergrößerung der Zerstreuungskreise bedingte Verundeutlichung unter Umständen überkompensiert werden könnte durch die beträchtlichere Zunahme der Netzhautbildgrößen. A. v. Graefe hat es hierauf zurückgeführt, dass viele jugendliche Personen mit starker Hypermetropie sich beim Lesen wie Kurzsichtige verhalten, indem sie das Buch dicht an die Augen bringen. Neuere Untersuchungen hierüber verdanken wir Salzmann (s. § 151).

Auf die Beziehungen zwischen den Zerstreuungskreisen entfernter Objekte in ametropischen Augen und dem Korrektionsglase der Ametropie hat NAGEL hingewiesen unter Benutzung der Brennpunktsgleichung $l_, l_{,,} = \varphi_, \varphi_{,,}$.

Ist $l_,$ der Abstand des Objektes vom ersten Brennpunkte, $l_{,,}$ der Abstand der Netzhaut vom zweiten Brennpunkte, $\varphi_,$ und $\varphi_{,,}$ die vordere, bezw. hintere Brennweite, p der Pupillendurchmesser, so ist für entfernte Objekte, deren Bild in der hinteren Brennebene entworfen wird, $\frac{z}{p} = \frac{l_{,,}}{\varphi_{,,}} = \frac{\varphi_,}{l_,}$.

Fig. 36.



Da $\frac{1}{l_,}$ die Stärke des im vorderen Brennpunkte befindlichen Korrektionsglases der Ametropie angiebt, so ist der Durchmesser des Zerstreuungskreises entfernter Objekte auf der Netzhaut ametropischer, akkommodationsloser Augen bei konstantem Pupillendurchmesser der Stärke des im vorderen Brennpunkte befindlichen Korrektionsglases proportional; daher sind für gleiche Grade von Hauptpunktsametropie die Zerstreuungskreise bei Kurzsichtigkeit größer, als bei Übersichtigkeit.

§ 43. Ist das Auge auf einen bestimmten Abstand eingestellt, so werden näher und ferner gelegene Gegenstände auf der Netzhaut in Zerstreuungskreisen abgebildet. Damit diese letzteren bemerkbar werden, also eine merkliche Verundeutlichung des Bildes bedingen, müssen sie eine bestimmte Größe überschreiten. So lange dies nicht der Fall ist, erscheinen verschieden weit entfernte Gegenstände gleichzeitig ganz scharf, auch wenn sie nicht genau in der Ebene der percipierenden Netzhautschichten abgebildet werden. Die Strecke im Raume, innerhalb deren für eine bestimmte Einstellung des optischen Apparates die Objekte verschoben werden können, ohne merklich unscharf zu erscheinen, heißt bei photographischen Apparaten die Fokustiefe; im Auge wird sie nach CZERMAK (1854) als Akkommodationslinie bezeichnet. Man kann sie sich zur Anschauung bringen, indem man etwa einen langen dünnen Faden in der Verlängerung der Gesichtslinie aufspannt: in der Umgebung des fixierten Punktes erscheint dann eine größere oder kleinere Strecke des Fadens vollkommen deutlich. Die Größe dieser Strecke lässt sich unter gewissen Voraussetzungen aus der

Formel $z = p \lambda \triangle$ ermitteln; bezeichnet man den kleinsten, eben merklichen Zerstreuungskreis für parallele Strahlen mit z_0, so ist $\triangle = \frac{z_0}{p \lambda} = \frac{z_0 B}{p}$, (da $\frac{1}{\lambda} = B$). Für ein auf ∞ eingestelltes Auge ist $B = D$, daher $\triangle = \frac{z_0}{p} D$; $\triangle$ entspricht der Strecke im Raum, um die von dem Punkte, auf den das Auge eingestellt ist, nach der einen Seite hin Gegenstände verschoben werden können, ohne merklich unscharf zu erscheinen; um eine entsprechende Strecke könnten die Gegenstände aber auch nach der anderen Seite verschoben werden, ohne unscharf gesehen zu werden; $\triangle$ entspricht also dem halben dioptrischen Werte der Akkommodationslinie.

Zuverlässige Angaben über die Größe des ebenmerklichen Zerstreuungskreises fehlen. Direkte genauere Messungen sind sehr schwierig, wenn man berücksichtigt, dass das Netzhautbild eines Objektpunktes selbst bei genauester Einstellung ja nie punktförmig ist, sondern auch unter den günstigsten Umständen infolge der Form des gebrochenen Strahlenbündels eine Zerstreuungsfläche bildet, die zudem im allgemeinen nicht in allen ihren Teilen gleiche Lichtstärke zeigt. Bei zunehmend ungenauer Einstellung kann also nur ermittelt werden, wann die auch bei schärfster Einstellung vorhandene Zerstreuungsfläche merklich größer zu werden beginnt. (Genaueres s. § 44 ff.)

Nach Aubert bezeichnet die Größe von 0,0027 mm etwa die Grenze der Wahrnehmbarkeit von seiten der Netzhautelemente; Zerstreuungskreise, die um 0,002 mm von einander differieren, erscheinen nach ihm gleich groß. Nehmen wir für den Durchmesser des kleinsten ebenmerklichen Zerstreuungskreises diesen Wert von 0,002 mm an, (wobei das Hypothetische der Annahme ausdrücklich betont sei), so ist für einen Pupillendurchmesser von 4 mm der der Akkommodationslinie entsprechende dioptrische Wert $2 \triangle = 0{,}001\, D$. Für das reduzierte emmetropische Auge ist $D = 66{,}6$ also $2 \triangle = 0{,}0666$ Dioptrien. Diesem dioptrischen Werte entsprechen im Raume verschieden lange Strecken, je nach deren Abstand vom Auge. Da der kleinste ebenmerkliche Zerstreuungskreis für ein und dasselbe Auge bei allen Akkommodationsgrößen den gleichen Wert hat, so wird für obige Voraussetzung unter sonst gleichen Verhältnissen bei Einstellen auf unendlichen Abstand Annäherung auf 30 m eben merkliche Verundeutlichung des Objektes ergeben (entsprechend dem halben dioptrischen Werte der Akkommodationslinie). Bei Einstellung des Auges auf 100 cm reicht die Akkommodationslinie von 96,8 cm bis zu 103,5 cm, bei Einstellung auf 10 cm reicht sie von 9,967 cm bis 10,034 cm.

Ist das Auge auf einen nahe gelegenen Gegenstand eingestellt, so werden Objekte, die sich in nur wenig größerem oder kleinerem Abstande befinden, in beträchtlichen Zerstreuungskreisen gesehen, solange die Pupille

unverändert bleibt. Diese Störungen können aber zum Teile durch die akkommodative Pupillenverengerung beim Nahesehen ausgeglichen werden; die Größe der Akkommodationslinie ist ja dem Pupillendurchmesser umgekehrt proportional. Neben der Regulierung der in das Auge einfallenden Lichtmenge ist die hier erwähnte wohl die wichtigste Funktion des Pupillenspieles.

Für das aphakische Auge ist $D = 43$, also 2 ′ = 0,043 Dioptrien, d. h. für ein nach Linsenentfernung emmetropisches Auge entspricht der eine Teil der Akkommodationslinie einer von ∞ bis 46,52 m vor dem Auge reichenden Strecke. Für ein solches Auge wird also unter obigen Voraussetzungen bei Annäherung eines Objektes aus sehr großer Entfernung der Zerstreuungskreis eben merklich, wenn das Objekt auf ca. 46 m genähert wird; für ein linsenhaltiges, auf parallele Strahlen eingestelltes (z. B. seniles emmetropisches) Auge erst bei Annäherung auf 30 m.

Die Länge der entsprechenden Bildstrecke vor bezw. hinter der Netzhaut ermittelt man aus diesen Werten, indem man berücksichtigt, dass einer Objektverschiebung im Werte von 1 Dioptrie für das reduzierte, linsenhaltige Auge eine Bildverschiebung im Betrage von ca. 0,3 mm entspricht, für das aphakische Auge dagegen eine solche von ca. 0,7 mm. Daher ist die Länge der gesuchten Bildstrecke im linsenhaltigen Auge = ca. 0,02 mm, im aphakischen = 0,03 mm.

Trotzdem also die absolute Größe dieser Strecke im aphakischen Auge die im linsenhaltigen um die Hälfte übertrifft, ist doch der dioptrische Wert der Akkommodationslinie bezw. die entsprechende Strecke im Raume für das aphakische Auge kleiner, als für das linsenhaltige. Von entfernten Objekten, deren Bilder nicht genau auf die Netzhaut fallen, erhält unter sonst gleichen Verhältnissen ein aphakisches, unkorrigiertes Auge, (das also eine entsprechend größere Achsenlänge haben muss), verwaschenere Bilder als ein linsenhaltiges, auf gleichen Abstand eingestelltes (akkommodationsloses) Auge. Für 2 aphakische Augen, von welchen das eine achsenmyopisch und auf eine bestimmte Entfernung ohne Glas eingestellt ist, das andere mit normaler Bulbusachse aber durch entsprechendes Korrektionsglas auf die gleiche Entfernung eingestellt ist, würde die Akkommodationslinie gleiche Größe haben, wenn das Korrektionsglas sich im vorderen Brennpunkte des aphakischen Auges, ca. 23 mm vor der Hornhaut, befände; da es sich aber nur 13 mm vor der Hornhaut befindet, so ist (da dann D größer ist, als zuvor (vgl. § 71 ff.) die Akkommodationslinie des durch das Konvexglas korrigierten aphakischen, früher emmetropisch gewesenen Auges noch ein wenig größer als die des achsenmyopischen, aphakischen Auges (gleiches Distinktionsvermögen der Netzhaut in beiden Fällen selbstverständlich vorausgesetzt). Hierher gehörige Thatsachen sind in den letzten Jahren (1898) in etwas anderer Form von Schoute und von Salzmann entwickelt worden.

Also auch hier werden Gegenstände, auf welche die Augen nicht genau eingestellt sind, bei gleichem Einstellungsfehler im Auge mit abnorm langer Achse verwaschener erscheinen, als in dem Auge mit normaler Achse, das durch Konvexglas korrigiert ist. Es ist verschiedentlich angegeben worden, dass achsenmyopische Augen nach Extraktion der Linse in verschiedenen Entfernungen innerhalb ziemlich weiter Grenzen ohne Glas angenähert gleich gut sehen und dass dies auf eine größere Akkommodationslinie (relativ geringe Convergenz des gebrochenen Strahlenbündels) zu beziehen sei (Thier). Nach vorstehendem ist diese Erklärung nicht zutreffend. Dagegen haben solche operierte, kurzsichtige Augen meist geringeres Distinktionsvermögen der Netzhaut. Je kleiner aber das Distinktionsvermögen ist, desto größer wird im allgemeinen der eben merkliche kleinste Zerstreuungskreis, also auch die Akkommodationslinie sein müssen; hierin dürfte wohl zum großen Teile die Erklärung für die scheinbar beträchtliche Größe der Akkommodationslinie aphakischer Augen zu suchen sein. Übrigens ist zu berücksichtigen, dass die Art der Zerstreuungskreise, insbesondere die Lichtverteilung in ihnen, bei fehlender Linse infolge des Wegfalles der physiologischen Polyopie eine wesentlich andere ist, als im linsenhaltigen Auge (vgl. auch den Abschnitt über Aphakie und die scheinbare Akkommodation Aphakischer).

Litteratur.

1823. Purkinje, Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutanei. Breslau.

1854. Czermak, Physiologische Studien. Prag.

1855. v. Graefe, Über Myopia in distans. Arch. f. Ophth. II, 1. S. 158.

1860. Becker, O., Über Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge. Wiener med. Wochenschr. S. 670 u. 684.

1872. Heuse, Über die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung. Arch. f. Ophth. XVIII, 2. S. 236.

1875. Nagel, Anomalien der Akkommodation und Refraktion. Handb. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl.

1879. Heyl, The diffusion circles of ametropia. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 561.

1885. Weidlich, Zur Berechnung der Zerstreuungskreise in ametropischen Augen. Arch. f. Augenheilk. XIV. S. 442.

1892. Tscherning, Beiträge zur Dioptrik des Auges. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. III. S. 429.

1894. Thier, Beobachtungen über operative Correction der Myopie. Intern. Ophth. Congress Edinburgh.

Salzmann, Das Sehen in Zerstreuungskreisen. Arch. f. Ophth. XXXIX. 2. S. 83 u. XL. 5. S. 102.

1897. Salzmann, Die Brechungsverminderung durch Verlust der Linse. Arch. f. Ophth. XXXIV. S. 152.

1898. Schoute, Die scheinbare Akkommodationsfähigkeit der aphakischen Langaugen. Arch. f. Ophth. XLVIII. 2. S. 438.

Salzmann, Das Sehen in Zerstreuungskreisen und die scheinbare Akkommodation der Aphakischen insbesondere. Arch. f. Ophth. XLIX. 1. S. 168.

Abschnitt IV.

Die monochromatische Aberration.

§ 44. Bei den allgemeinen Untersuchungen über die einfachen Refraktions- und Akkommodationsanomalien gehen wir von der Voraussetzung aus, dass das Auge stigmatisch sei, d. h. dass von einem punktförmigen, leuchtenden Objekte durch den brechenden Apparat des Auges wieder ein punktförmiges Bild entworfen werde. Für zahlreiche Erörterungen ist eine solche Vereinfachung kaum zu umgehen; doch müssen wir uns stets gegenwärtig halten, dass man sich dadurch unter Umständen, auch für das »normale« Auge, weit von der Wirklichkeit entfernen kann.

Die Annahme der genauen punktförmigen Abbildung eines leuchtenden Punktes durch die brechenden Flächen des Auges hat, wie wir sahen, zur Voraussetzung, dass 1.) nur solche Strahlen in Betracht kommen, die mit der Achse kleine Winkel bilden (Nullstrahlen); dass 2.) diese Strahlen die brechenden Flächen unter angenähert rechtem Winkel treffen; dass 3.) die brechenden Medien centriert seien, dass 4.) dieselben keine merkliche optische Discontinuität zeigen (sei es durch kleine Unregelmäßigkeiten der Wölbung oder des Brechungsindex, oder durch Einlagerung durchsichtiger Körper von abweichendem Brechungsindex in ein im übrigen optisch homogenes Medium), und dass 5.) die von dem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen alle gleiches Brechungsverhältnis, also gleiche Wellenlänge haben. Von allen diesen Voraussetzungen trifft, wie sich zum Teil ja schon aus dem in den früheren Abschnitten Gesagten ergiebt, bei gewöhnlichem Sehen kaum eine einzige genau zu. Wir wollen versuchen, eine Vorstellung davon zu bekommen, inwieweit hierdurch eine Abweichung von der punktförmigen Abbildung im Auge wirklich statt hat.

Unsere Kenntnisse von der Konstitution des im Auge gebrochenen Strahlenbündels haben in den letzten Jahren insbesondere durch die Arbeiten Gullstrand's (1901) eine wesentliche Erweiterung erfahren; durch sie ist auch erst das Verständnis für viele hierhergehörige interessante Thatsachen ermöglicht worden, die wir den früheren Untersuchungen, insbesondere von Donders, und den neueren, hauptsächlich von Tscherning (1892) und von Müller-Rée (1896), verdanken.

Ein besonders geeignetes und öfter benutztes Mittel zum Studium der hierhergehörigen Fragen ist die subjektive Untersuchung des Auges mittels eines leuchtenden Punktes. Als Sehobjekt dient ein genügend kleiner heller Punkt, etwa ein feines Loch in einer von rückwärts beleuchteten Metallplatte. Man kann das im Auge gebrochene Strahlenbündel nun in der Weise untersuchen, dass man durch Änderung des Abstandes oder der optischen Einstellung des Auges (mittels geeigneter Konvex-, bezw. Konkavgläser) verschiedene Querschnitte des Strahlenbündels auf die Netzhaut bringt.

Wir wollen zunächst von einem solchen Einstellungsfehler ausgehen, bei dem der leuchtende Punkt sich dem Auge wesentlich näher befindet als der Punkt, auf welchen dieses eingestellt ist (»positiver« Einstellungsfehler). So lange der leuchtende Objektpunkt sich nahe dem vorderen Brennpunkte des Auges befindet, ist die durchschnittliche scheinbare Helligkeit des entoptisch wahrgenommenen Bildes (abgesehen von den nachher besonders zu besprechenden entoptischen Figuren) in den verschiedenen Teilen ungefähr gleich, wenigstens fehlen im allgemeinen größere Helligkeitsunterschiede. Dieses Bild ändert sich aber wesentlich, wenn man den leuchtenden Punkt vom Auge allmählich entfernt, (doch so, dass er noch diesseits des Fixirpunktes bleibt), so dass das gebrochene Strahlenbündel zunehmend konvergenter und damit das Zerstreuungsbild auf der Netzhaut allmählich kleiner wird. Zunächst ändert sich die Lichtverteilung derart, dass die mittleren Teile der Scheibe dunkler werden, in der Peripherie aber eine helle, zackige Begrenzungslinie erscheint, welche der Schnittlinie der Brennfläche des gebrochenen Strahlenbündels mit der Netzhautebene entspricht. Nach außen von dieser hellen Peripherie wird ein feiner orangefarbiger Saum sichtbar, der bei größerer Helligkeit der Lichtquelle feinste Strahlen in radiärer Richtung aussendet. Die mittleren, dunkleren Teile der Zerstreuungsfigur zeigen im allgemeinen einen blauvioletten Ton und etwas hellere Stellen in unregelmäßiger Verteilung. Aus diesen Farbenerscheinungen, wie auch z. B. aus der Prüfung mit einem nur blaues und rotes Licht durchlassenden (Kobalt-) Glase, wobei die äußere zackige Linie rot, das Centrum blau erscheint, geht hervor, dass jene Zacken von Strahlen gebildet werden, die den Leitstrahl vor Erreichung der Netzhaut nicht geschnitten haben. Auch die periphere Begrenzungslinie ist im allgemeinen nicht gleichmäßig hell, vielmehr heben sich intensiver helle Punkte und radiär gestellte Partien aus der durchschnittlichen Helligkeit der zackigen Linie hervor.

Entfernt man den leuchtenden Punkt bis nahe zu dem Punkte, auf welchen das Auge eingestellt ist, so wird der Durchmesser der peripheren hellen Begrenzungslinie immer kleiner, so dass in der Mitte nur noch eine kleinste, tief dunkelblaue Stelle sichtbar bleibt. Bei genügend geringer Lichtstärke der Lichtquelle kann die helle Begrenzungslinie dann in eine bei verschiedenen Versuchspersonen verschiedene Zahl von hellen Punkten oder oft keilförmigen, radiär gestellten Flecken oder strahligen Figuren zerfallen, die durch weniger helle, mitunter auch durch ganz dunkle Stellen von einander getrennt sind, so dass man statt eines einzigen Punktes deren mehrere sieht, die innen blau, außen orangefarbig erscheinen (»Monoculäre physiologische Polyopie«). Diese Erscheinungen wurden von Donders durch die Annahme erklärt, dass jeder Sektor der Linse für sich ein besonderes Bild entwerfe. Dass sie in der That in der Linse ihre Ursache haben, konnte

Exner unter anderem dadurch erweisen, dass er eine menschliche Linse unter das Mikroskop legte und die durch sie entworfenen Zerstreuungsbilder eines unter ihr verschieblich angebrachten leuchtenden Punktes beobachtete. Er erhielt so Bilder, die in allen wesentlichen Punkten mit der hier besprochenen Zerstreuungsfigur bei ungenauer Einstellung des Auges übereinstimmten. (Exner berechnet, dass die gefundenen Helligkeitsdifferenzen in diesem »irregulären Zerstreuungskreise« eines Lichtpunktes genügend erklärt werden können durch die Annahme, dass die Oberfläche der Lichtwelle nach ihrem Austritt aus der Linse Verbiegungen erfahren hat, deren Tiefe nur einen Bruchteil einer Wellenlänge zu betragen braucht.)

Befindet sich der leuchtende Punkt genau in dem Abstande, auf den das Auge eingestellt ist, so erscheint er bei normaler Refraktion zumeist als scharf begrenzte, kleine, runde, bei genügender Lichtstärke der Lichtquelle mit feinen radiären Strahlen besetzte Scheibe.

Ist die Lichtquelle sehr hell, »so fließen die Strahlen des Sterns ineinander, ringsumher entsteht außerdem ein aus unzähligen, äußerst feinen und bunt gefärbten Linien bestehender Strahlenkranz von viel größerer Ausdehnung« (v. Helmholtz), der als »Haarstrahlenkranz« bezeichnet wird.

In den regelmäßigsten Fällen ist nach Gullstrand die Grundform der Hauptstrahlen des Sternes bei genauer Einstellung ein Kreuz mit diagonalen Strahlen. Die centrale Scheibe verdankt ihre Entstehung der sphärischen Aberration des Auges, wie u. a. daraus hervorgeht, dass sie bei teilweisem Verdecken der Pupille kleiner wird. Durch ein Kobaltglas erscheinen die Strahlen blau, die Scheibe rötlich, woraus hervorgeht, dass erstere in dem für die optische Abbildung günstigsten Querschnitte von Lichtstrahlen gebildet werden, die schon den centralen Strahl geschnitten haben, dass also die Aberration positiv ist. Helmholtz hatte diese Strahlen als Folge von irregulärem Astigmatismus, der in der Linse seinen Sitz habe, erklärt. Gullstrand zeigte die strenge Gesetzmäßigkeit der Entstehung derselben; denn den geschilderten ganz ähnliche Strahlenfiguren, nur mit anderer Zahl und Gruppierung der Strahlen, lassen sich durch besondere Gläserkombinationen erhalten, welche die Herstellung eines »anastigmatischen Strahlenbündels mit Diagonalastigmatismus« gestatten.

Gullstrand stellt ein solches Strahlenbündel in der folgenden Weise her: Vier Cylindergläser von + 6,5 Dioptrien werden in einer passenden Fassung so angebracht, dass alle cylindrischen Flächen der Lichtquelle zugekehrt sind und die Achsen der beiden mittleren Linsen senkrecht stehen zu den untereinander parallelen Achsen der vordersten und hintersten Linse. Durch passende Verschiebung der Linsen gelingt es, den infolge ihrer Dicke entstandenen Astigmatismus ganz zu korrigieren. Wenn man nun diese Cylinderkombination als photographisches Objektiv benutzt und damit z. B. von Druckschrift eine Einstellung auf der Scheibe macht und danach die Schrift durch einen in

gleichem Abstande befindlichen leuchtenden Punkt ersetzt, so zeigt sich auf der Mattscheibe eine kleine, viereckige, helle Scheibe, von der 4 lange, an den Spitzen blaue Strahlen kreuzförmig ausgehen. Wird ein näher zur Linsenkombination gelegener Querschnitt aufgesucht, so findet man eine nahezu viereckige Form mit roten Kanten und in den zu den Strahlen des vorherigen Querschnittes diagonal gelegenen Ecken eine solche Lichtkoncentration, dass vier leuchtende Punkte erscheinen. Es zeigt sich also in der That (bis auf die Zahl der Strahlen) eine wesentliche Übereinstimmung mit den Erscheinungen am normalen Auge.

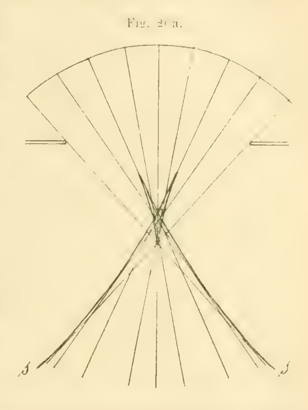
Die zahlreichen Strahlen, die das normale Auge um einen leuchtenden Punkt wahrnimmt, sind nach Gullstrand auf Verschiedenheiten der Wölbung oder der Spannung der Linse in den verschiedenen, den Ciliarfortsätzen und ihren Zwischenräumen entsprechenden Richtungen zurückzuführen, »also gleichsam der optische Ausdruck für die Kraftlinien der Zonularspannung«.

Wird der leuchtende Objektpunkt weiter über den Abstand hinaus entfernt, auf welchen das Auge (nötigenfalls durch ein Konvexglas) eingestellt ist, so tritt wieder eine Zerstreuungsfigur auf, die aber ein von dem vorher beobachteten verschiedenes Aussehen zeigt. Man sieht zunächst einen central gelegenen, mehr oder weniger unregelmäßigen, sehr hellen Punkt, der der Spitze der Brennfläche des gebrochenen Strahlenbündels entspricht, und von welchem radiär kurze, aber ziemlich starke, durch feine, dunkle Zwischenräume voneinander getrennte helle Strahlen ausgehen, die an der Peripherie blau gesäumt sind. Diese Lichtkoncentration in den mittleren Teilen der Zerstreuungsfläche ist ein Ausdruck der positiven sphärischen Aberration des Auges. Bei langsam zunehmendem Einstellungsfehler bleibt der helle Punkt in der Mitte noch eine kurze Zeit sichtbar, woraus hervorgeht, »dass derjenige Querschnitt des Strahlenbündels, welcher bei scharfem Sehen im normalen Auge auf die Netzhaut fällt, nicht mit dem Fokalpunkt zusammenfällt, sondern einer Ebene entspricht, welche, falls die Sterne ohne Strahlen gesehen würden, mit der Ebene des kleinsten Zerstreuungskreises identisch wäre.« (Gullstrand). Die hellen radiären Strahlen, die durch immer deutlicher werdende dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind, reichen nicht immer bis zur Mitte der Zerstreuungsfläche heran. Bei noch größerem Einstellungsfehler ist schließlich wieder nur eine annähernd gleichmäßig helle Zerstreuungsscheibe sichtbar.

Von den nach künstlicher Erweiterung der Pupille bei Beobachtung eines leuchtenden Punktes auftretenden Erscheinungen erwähne ich aus Gullstrand's Darstellung folgendes: Die von der Schnittlinie der Brennfläche ausgehenden Strahlen, (die den centralen Strahl noch nicht getroffen haben), erscheinen bedeutend verlängert. Sucht man das stärkste Konkavglas auf, mit welchem (bei Akkommodationsruhe) diese Schnittlinie noch zu sehen ist, so zeigt sich, dass sie nicht mit der Begrenzungslinie des wahrgenommenen Strahlenquerschnittes zusammenfällt, dass also die um den centralen Strahl positive Aberration (wie schon früher erwähnt wurde), nach der Peripherie

hin abnimmt, so dass ein Strahlenbündel von der Art des bereits früher (§ 16 besprochenen, durch Fig. 20 a veranschaulichten, entsteht. Die positive Aberration ist längs jener beiden Strahlen, welche die Schnittlinie der Brennfläche in den beiden symmetrischen Spitzen berühren, gleich Null. Wenn wir dann die Figur um den centralen Strahl als Achse drehen, so erhalten wir in der Blendenöffnung außer dem centralen Punkte noch eine Kreislinie, welche dadurch charakterisiert ist, dass längs den durch sie gehenden Strahlen keine direkte Aberration in radiärer Richtung vorhanden ist. Ebenso verhält sich das im Auge gebrochene Strahlenbündel mit der einzigen Ausnahme, dass die Kreislinie wellenförmig ein- und ausgebuchtet ist.«

Fig. 20 a.



Innerhalb des von dieser Linie umschriebenen Gebietes (»optische Zone« der Pupille) ist also die sphärische Aberration positiv, längs der durch die Grenzlinie gehenden Strahlen hat sie aber bereits einen negativen Wert; trotzdem aber schneiden die noch weiter peripherwärts eintretenden Strahlen den Centralstrahl noch diesseits des Brennpunktes. Die periphere Totalaberration, d. i. der Unterschied zwischen den äußersten Strahlen und dem Hauptstrahle, ist also noch immer positiv, trotzdem längs jener peripheren Strahlen die Aberration negativ ist. Bei Untersuchung einer größeren Zahl von Augen fand Gullstrand, dass die Aberration innerhalb der optischen Zone der Pupille immer positiv, und dass eine solche optische Zone innerhalb der Pupille immer vorhanden ist.

Die hier besprochenen Zerstreuungsfiguren zeigen bei verschiedenen Personen mit normaler Sehschärfe beträchtliche Verschiedenheiten und können auch auf beiden Augen der gleichen Person verschieden sein; die Zerstreuungsfigur bei v. Helmholtz zeigt z. B. an einem Auge sowohl bei positivem wie bei negativem Einstellungsfehler einen hellen Fleck in der Mitte.

Von mehreren Beobachtern ist die Verschiedenheit des Aussehens der Zerstreuungsfiguren bei positivem und bei negativem Einstellungsfehler hervorgehoben worden; so fand Exner bei Beobachtung eines hellen Objektes auf dunklem Grunde die Helligkeitsdifferenz der einzelnen Punkte der

Zerstreuungsfläche bei gleicher Größe der letzteren nennenswert größer, wenn sich die Netzhaut hinter dem Brennpunkte befand, als bei hypermetropisch gemachtem Auge. Bei Beobachtung schwarzer Punkte auf weißem Grunde hatte SALZMANN bei negativem Einstellungsfehler deutliche physiologische Polyopie, bei positivem dagegen kaum eine Spur davon.

Die wiederholt (so von STELLWAG, CADIAT) gemachte Annahme, dass die monoculare Polyopie auf Polarisation des Lichts in den Linsenfasern zurückzuführen sei, ist von GUT und später von JAVAL widerlegt worden: dreht man ein NICOL'sches Prisma vor dem Auge, so werden dadurch die Erscheinungen der Polyopie nicht beeinflusst (EXNER).

Die gleichen Untersuchungsmethoden, die zur Ermittlung der Brennfläche dienen, benutzte GULLSTRAND auch zur quantitativen Bestimmung der Aberration. Er fand so an seinem rechten Auge für die optische Zone der Pupille einen Durchmesser von 4 mm; der Unterschied zwischen der Refraktion im Centrum und am Rande der optischen Zone, also nur 2 mm vom Centrum entfernt, betrug 4 Dioptrien. Ähnliche, in keinem Falle kleinere Werte fand er auch in anderen normalen Augen und mit Hilfe von anderen Methoden. Schon aus der Größe dieses positiven Aberrationswertes der optischen Zone geht hervor, dass er nicht allein durch die Hornhaut bedingt sein kann, sondern zum Teile auch auf die Linse bezogen werden muss. Weiter peripherwärts fand sich wieder eine Abnahme der Refraktion derart, dass in einem Abstande von 4 mm vom Centrum, also am Rande der maximal erweiterten Pupille, die Refraktion wieder ungefähr gleich der centralen war.

Auch die Asymmetrien (die später [§ 180] ausführlicher besprochen werden), lassen sich mittels der entoptischen Methode mit dem leuchtenden Punkte unschwer untersuchen. Im normalen Auge fand GULLSTRAND fast immer eine vertikale Asymmetrie. Für sein Auge bildeten in der fast vollkommen regelmäßigen achtstrahligen Sternfigur die genau nach oben und unten ziehenden Strahlen eine Symmetrielinie, dagegen trennten die ebenso genau nach innen und außen verlaufenden einen etwas größeren unteren von dem etwas kleineren oberen Teile ab, was einer Verlagerung des optischen Centrums (d. i. des Punktes, wo der die Brennfläche in ihrer Spitze berührende centrale Strahl die Pupillenebene schneidet), nach oben vom anatomischen Centrum (nach der Berechnung um ca. $^1/_7$ mm) entspricht. Diese Werte ändern sich mit dem Durchmesser der Pupille, die sich ja im allgemeinen nicht genau koncentrisch verengert und erweitert.

In weniger regelmäßigen Fällen kann die Schnittlinie der Brennfläche des gebrochenen Bündels mit der Netzhautebene gar keine Symmetrielinie aufweisen (dritte Form des Astigmatismus).

Neben den Beobachtungen mittels eines leuchtenden Punktes benutzte GULLSTRAND zum Studium der Aberrationen des Auges noch die Untersuchung im

aufrechten Bilde mittels eines Spiegels mit genügend feiner Bohrung (nicht mehr als 1,5—2 mm Durchmesser), wobei die Refraktion durch verschiedene Teile der Pupille hindurch bestimmt bezw. die Formveränderung der Papille festgestellt wird, die ein bei Verschiebung des Spiegels entstehender Astigmatismus hervorruft. »Wenn die Aberration einen ungewöhnlich hohen Grad erreicht, wie es bisweilen mit der positiven der Fall ist, oder wenn eine ausgeprägte negative Aberration vorhanden, wie z. B. bei der vor der Trübung der Linse in gewissen Fällen auftretenden Starmyopie, oder wenn eine ausgeprägte pathologische Asymmetrie vorliegt, können diese Methoden immer angewendet werden und die eine ergiebt einen Refraktionsunterschied von mehreren Dioptrien, die andere zeigt deutliche Formveränderung der Papille.«

Ferner kann auch die skiaskopische Methode zur Untersuchung der Aberrationen herangezogen werden (Leroy 1893, Tscherning, Brudzewski 1900). Die beiden letztgenannten Methoden (Skiaskopie und Untersuchung im aufrechten Bilde) geben nur Aufschluss über die periphere Totalaberration, während jene mit dem leuchtenden Punkte auch die Aberration in der optischen Zone zu ermitteln gestattet.

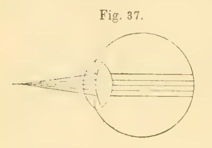
Schließlich sei noch die von Tscherning in Anlehnung an einen Versuch von Thomas Young benutzte Methode der Untersuchung der Aberrationen mittels des »Aberroskopes« erwähnt, d. i. einer plankonvexen Linse von ca. 4 Dioptrien, mit einem rechtwinkligen Liniennetze auf der ebenen Fläche, welche so vor das Auge gehalten wird, dass die von einer punktförmigen Lichtquelle entworfenen Schatten der Linien auf der Netzhaut im Zerstreuungsbilde des leuchtenden Punktes sichtbar werden. Gullstrand hat die Theorie des Aberroskopes entwickelt und die Einschränkungen kennen gelehrt, unter welchen die damit erhaltenen Ergebnisse verwertbar sind. Bezüglich der für die Akkommodationslehre wichtigen Änderung der Aberration während der Akkommodation kommt Gullstrand zu dem Ergebnisse, »dass die periphere Totalaberration in gewissen Fällen negativ wird, ohne dass es möglich ist, für die übrigen Fälle eine Änderung zu konstatieren und ohne dass eine Veränderung der Aberration innerhalb der optischen Zone bewiesen wäre«.

§ 15. Selbst wenn aber die oben unter 1 bis 3 erwähnten Bedingungen, (rechtwinklige Incidenz von Nullstrahlen auf centrierte sphärische Flächen), am Auge erfüllt wären, so wäre für die punktförmige Abbildung noch weiter unerlässlich, dass die brechenden Medien, Hornhaut, Kammerwasser und Glaskörper optisch homogen und dass auch die einzelnen Linsenschichten allenthalben von gleicher optischer Dichte wären. Alles dies trifft aber auch im normalen Auge nicht zu.

Die geeignetste Methode zur Untersuchung dieser Frage ist wieder die mittels eines leuchtenden Punktes, der zu diesem Zwecke in der Nähe des vorderen Brennpunktes des Auges angebracht wird, so dass die gebrochenen Strahlen angenähert parallel zu einander die Netzhaut treffen.

Die Unregelmäßigkeiten der optischen Dichte, sowie die Trübungen der brechenden Medien machen sich dann durch Änderung in der Helligkeit der entsprechenden Stellen der (angenähert kreisförmigen) Zerstreuungsfigur geltend, welche unter diesen Umständen von dem leuchtenden Punkte auf der Netzhaut entworfen wird und deren Durchmesser, wenn der Objektpunkt sich im vorderen Brennpunkte befindet, dem Pupillendurchmesser entspricht. In einem optisch homogenen, aberrationsfreien System würde dieser Zerstreuungskreis eine Scheibe von allenthalben ganz gleicher Helligkeit darstellen.

Fig. 37.



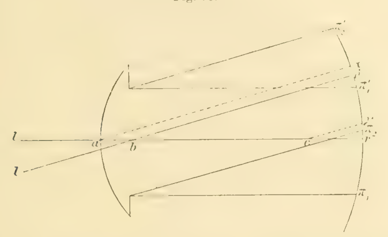
Die Lage der auf diese Weise entoptisch sichtbar gemachten Objekte zur Pupillenebene lässt sich, wie Listing (1845) zuerst gezeigt hat, mittels der bei Bewegungen des Auges erfolgenden parallaktischen Verschiebung der Schatten der Objekte zum entoptischen Bilde des Pupillenrandes schätzen: vor der Pupillenebene gelegene Punkte zeigen bei Bewegung des Auges eine Scheinbewegung in entgegengesetzter Richtung (negative Parallaxe), hinter der Pupillenebene gelegene Punkte zeigen eine positive Parallaxe, die um so größer ist, je weiter die Punkte von der Pupillenebene entfernt sind. Die Schatten in der Pupillenebene gelegener Punkte behalten bei allen Bewegungen des Auges ihre Lage zum entoptischen Bilde des Pupillenrandes unverändert bei.

Zur genaueren Ortsbestimmung bediente sich Brewster zweier nahe beieinander stehender leuchtender Punkte; hierdurch erscheinen die entoptisch gesehenen Figuren verdoppelt. Ähnlich untersuchte Donders mittels zweier feinster Löcher, die in einem dunklen Schirme so dicht bei einander angebracht sind, dass 2 sich zum Teile deckende Kreise sichtbar werden, deren Mittelpunktsabstand angenähert proportional dem Abstande der Pupille von der Netzhaut ist. Der gegenseitige Abstand $d_,$ der entoptisch doppelt gesehenen Objekte verhält sich zu dem Abstande $D_,$ dieses Objektes von der Netzhaut, wie der Mittelpunktsabstand d der beiden Kreise (der gleich ist der Breite der nicht zusammenfallenden Kreisteile) zum Abstande der Netzhaut von der Pupille (im normalen Auge ca. 19 mm). Hieraus berechnet sich der Abstand eines entoptisch wahrgenommenen Punktes von der Netzhaut nach der Gleichung $D_, = \frac{19\, d_,}{d}$. Die Messung erfolgt am besten nach der méthode à double vue.

Fig. 38 diene zur Veranschaulichung des Gesagten. Wenn sich im vorderen Brennpunkte des Auges bei l, ein leuchtender Punkt befindet, so wird von den Punkten a, b und c ein Bild auf der Netzhaut in r entworfen. Bewegt sich das Auge nach oben, oder der leuchtende Punkt l, nach unten bis $l_{,,}$, so wird jetzt

das Bild von a in α, von b in β, von c in γ entworfen. Der Punkt a wird sich also scheinbar dem unteren Rande π'_2, der Punkt c scheinbar dem oberen Rande π_2 des entoptisch gesehenen Pupillenbildes genähert haben. Ferner folgt aus der Figur unmittelbar $\frac{c\,r}{\gamma\,r} = \frac{b\,r}{\beta\,r}$.

Fig. 38.



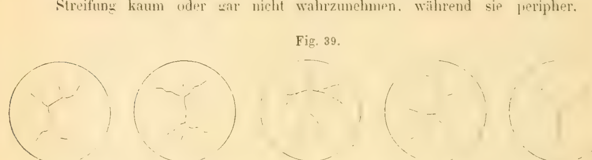
§ 46. Die normale Hornhaut bedingt im allgemeinen verhältnismäßig wenige Unregelmäßigkeiten im Aussehen der fraglichen entoptischen Zerstreuungsfigur. Wenn durch den Lidschlag auf ihr kleine Schleimflöckchen, Luftblasen u. s. w. in das Bereich der Pupille gelangen, können sie entoptisch sichtbar werden und stellen sich dann in der Regel als helle oder dunkle, rundliche oder unregelmäßige, meist nicht scharf begrenzte Flecke dar, die gewöhnlich nach einem Lidschlage im Gesichtsfelde rasch von oben nach unten (in Wirklichkeit also von unten nach oben) sich bewegen. Ich habe sie bei normalem Lidschlage sich nicht in entgegengesetzter Richtung bewegen sehen; sie werden also im allgemeinen durch das sich hebende Lid nach oben gezogen.

Mäßiger Druck auf die Hornhaut bedingt das Auftreten zahlreicher, zum Teil paralleler, zum Teil unregelmäßiger dunkler Linien im entoptischen Bilde, die wohl als vorübergehende Faltenbildungen der Hornhaut bezw. als leichte Unregelmäßigkeiten des Epithels zu deuten sind. Bull hat derartige Bilder eingehend beschrieben.

Von wesentlich größerem Interesse sind die zuerst von Listing genauer beschriebenen, entoptisch wahrnehmbaren Unregelmäßigkeiten der Linse. Ich beschränke mich auf die Angabe der dioptrisch wichtigeren Einzelheiten und verweise im übrigen auf die eingehenden Beschreibungen von Listing und von Donders; (in den letzten Jahren hat Darier hierhergehörige Abbildungen veröffentlicht, die sich zum Teil auf pathologische Fälle beziehen.)

1. In erster Linie fällt in vielen Augen eine sehr feine radiäre Streifung auf, die insbesondere in den peripheren Teilen des entoptischen Bildes deutlich ist. Sie ist wohl aufzufassen als Ausdruck des Aufbaues der peripheren Linsenschichten aus zahlreichen (2100—2250) »Radiärlamellen« (Rabl), die »wie die einzelnen Sektoren einer Apfelsine« um die weniger regelmäßig angeordneten Centralfasern gelagert sind; schon hier zeigen sich große individuelle Verschiedenheiten in der Deutlichkeit und Menge dieser radiären Streifen. Vielfach ist in den centralen Teilen des Bildes die radiäre Streifung kaum oder gar nicht wahrzunehmen, während sie peripher,

Fig. 39.



besonders bei künstlich erweiterter Pupille, scharf und deutlich hervortritt.

2. In den centralen Teilen des entoptischen Bildes zeigt sich eine andersartige, meist aus wesentlich dickeren Strichen gebildete, dunkle, strahlige Figur, die wiederum in verschiedenen Augen sehr verschieden ist und oft vollkommen fehlt oder durch einen kleinen rundlichen, nicht scharf begrenzten Fleck ersetzt erscheint. Sie liegt der Pupillenebene sehr nahe, wie aus dem Fehlen parallaktischer Verschiebung bei Bewegung des Auges hervorgeht und entspricht dem »vorderen Sternstrahle« der Linse, dessen Anordnung ja bekanntlich großen individuellen Schwankungen unterliegt; er kommt am häufigsten in Form einer aus 3, seltener 6 oder 9 Strahlen gebildeten Figur vor, die gewöhnlich aus der Nähe des vorderen Pols ausgehen. Die Strahlen sind meist nicht geradlinig, sondern unregelmäßig zackig und teilen die Linsenoberfläche in eine Anzahl verschieden großer Sektoren. Häufig ist ein eigentlicher Mittelpunkt der Strahlenfigur nicht zu sehen, vielmehr laufen die Strahlen in unregelmäßiger Weise zusammen; an vielen Augen, insbesondere älterer Leute, kann man bei seitlicher Beleuchtung diese Figuren sehen, auf deren Unregelmäßigkeit gegenüber der verbreiteten schematischen Darstellung des »Sternstrahles« der Linse Fridenberg u. a. (1891) hingewiesen haben. In nebenstehenden Figuren sind einige Formen des Sternstrahles (nach Fridenberg) zusammengestellt.

3. Ferner sieht man kleine helle, dunkelgesäumte, oder aber dunkle Flecke mit schmalem hellem Saum. Bei Benutzung eines sehr kleinen, genügend hellen Lichtpunktes erscheinen diese Flecke wohl auch von mehreren feinen, dunklen und hellen, koncentrischen Linien umgeben. Sie dürften wohl den auch in normalen Linsen angetroffenen Lücken zwischen den

Radiärlamellen der Linse entsprechen. Bei Bewegungen des Auges zeigen einige dieser Punkte geringe oder fast gar keine, andere eine ausgesprochene (positive) Parallaxe: sie liegen also in verschiedenen Schichten der Linse.

Zu allen diesen Beobachtungen ist eine verhältnismäßig schwache Lichtquelle nötig; steigert man deren Lichtstärke, so werden die geschilderten Bilder mehr oder weniger vollständig verdrängt durch sehr schöne Erscheinungen ganz anderer Natur (Beugungsphänomene). Benutzt man als Lichtquelle z. B. das durch Spiegelung an einem glatten, nahe vor das Auge gehaltenen Stecknadelkopf erzeugte Sonnenbildchen, so zeigt sich als entoptische Figur vorwiegend eine große Zahl regelmäßiger, koncentrischer, heller und dunkler Kreise; die äußerste Peripherie ist von einem hellen Kreise gebildet, dem zahlreiche feine radiäre Streifchen aufsitzen; die Breite der einzelnen Kreise nimmt gegen die Mitte der Figur hin rasch ab, so, dass die mittleren Kreise kaum oder gar nicht mehr voneinander gesondert werden können, vielmehr in eine kleine centrale Scheibe von nicht ganz gleichmäßiger Helligkeit zusammenfließen. Sowie die Lichtstärke des Bildes — etwa durch eine vor die Sonne ziehende Wolke — verringert wird, verschwinden die koncentrischen Ringe und es ist wieder das vorher geschilderte entoptische Linsenbild allein sichtbar.

Abgesehen von den kleineren vorerwähnten Unregelmäßigkeiten können, gleichfalls in normalen Augen mit normaler Sehschärfe, etwas größere Unregelmäßigkeiten der Brechung zur Entstehung von mehr oder weniger voneinander getrennten »Sonderbrennpunkten« führen. Ein Beispiel möge den Einfluss solcher auf das Sehen unter verschiedenen Bedingungen veranschaulichen.

An meinem linken, angenähert emmetropischen Auge, dessen Sehschärfe ohne Glas $> {}^6/_5$ ist, findet sich eine derartige Erscheinung sehr ausgesprochen.

Fig. 40.

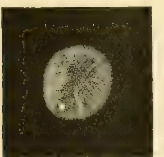
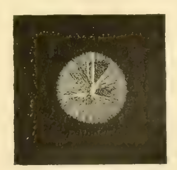


Fig. 41.



Bei Akkommodationsruhe erscheint ein in ca. 30 cm Abstand befindliches leuchtendes Pünktchen etwa unter dem in Fig. 40 wiedergegebenen Bilde: im äußeren unteren Quadranten der Zerstreuungsfläche, die im allgemeinen die oben

geschilderte Lichtverteilung zeigt, ist ein annähernd kreisrundes, sehr helles Scheibchen von geringem Durchmesser sichtbar; seine Verschiebungen bei maximalem Akkommodieren deuten darauf hin, dass es der Linse zugehört, das Fehlen parallaktischer Verschiebung bei Bewegungen des Auges deutet darauf hin, dass es auf Veränderungen in der Nähe der vorderen Linsenfläche zu beziehen ist. Bei Annäherung des leuchtenden Objektpunktes an das Auge wird das Scheibchen allmählich größer und hebt sich immer weniger von der umgebenden Helligkeit ab. Wenn der Lichtpunkt sich in der vorderen Brennebene befindet, so ist das Scheibchen von der übrigen hellen Fläche nicht mehr zu unterscheiden. Dagegen wird es bei abnehmendem Einstellungsfehler rasch kleiner und heller. Befindet sich der leuchtende Punkt jenseits des Punktes, auf den das Auge eingestellt ist, so erscheint dieser (z. B. ein genügend heller Stern, wenn ich für die Nähe akkommodiere) etwa in der durch Fig. 41 wiedergegebenen Form: Im inneren oberen Quadranten der (im übrigen die bekannte Lichtverteilung zeigenden) Zerstreuungsfläche erscheint ein dunkler Sektor, der von sehr hellen Linien umsäumt ist.

Eine ähnliche Erscheinung, nur etwas weniger ausgesprochen, sehe ich an meinem rechten, gleichfalls angenähert emmetropischen Auge ($S = 6/4$). Die Lage der Figuren ist mit jener am linken Auge identisch (nicht symmetrisch).

Somit hat ein dem rechten oberen Quadranten meiner Pupillen entsprechender kleiner Abschnitt meiner beiden Linsen eine etwas kürzere Brennweite, als der übrige hier in Betracht kommende Teil. Da wegen des sehr kleinen Durchmessers der Basis des betreffenden Lichtkegels die diesem zugehörige Akkommodationslinie verhältnismäßig groß ist und sich wohl zu einem großen Teile mit jener der übrigen Linsenpartien deckt, so wird durch diese Unregelmäßigkeit keine nennenswerte Sehstörung bedingt.

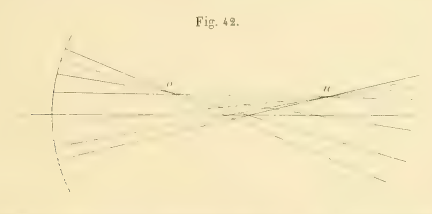
Für mein rechtes Auge erscheint ein feiner leuchtender Punkt bei sehr kleinem positivem Einstellungsfehler als 3facher Punkt, etwa in dieser Anordnung: .˙.. Der linke ist etwas heller als die anderen, die Zwischenräume zwischen den einzelnen Punkten sind nicht ganz dunkel, doch viel weniger hell als die Punkte selbst. Auch bei weniger einfachen Gegenständen, z. B. kleinen Buchstaben oder Zahlen ist diese Polyopie deutlich. Bringe ich bei fixiertem Kopfe und ruhender Akkommodation feine (doch nicht zu kleine) Druckschrift in solche Entfernung, dass die einzelnen Buchstaben oder Zahlen sehr verwaschen erscheinen, so kann ich Abstände und Objektsgrößen leicht so wählen, dass ich in dem Zerstreuungsflecke eines Buchstabens, meist nicht central, sondern leicht excentrisch, ein etwas weniger verwaschenes Bild sehe, das mir eben noch gestattet, den Buchstaben richtig zu erkennen. Schiebe ich nun von einer Seite dicht vor dem Auge einen Schirm vor die Pupille, so sehe ich bei passend gewählter Richtung des Vorschiebens zunächst das verwaschene, aber noch erkennbare Bild ganz unkenntlich werden; gleichzeitig oder (bei weiterem Vorrücken der Blende) unmittelbar danach tritt an einer anderen Stelle des Zerstreuungsfleckes ein anderes, zunächst gleichfalls noch verwaschen erscheinendes Bild etwas deutlicher hervor. Mit weiterem Vorrücken der Blende wird dieses trotz Abnahme seiner Lichtstärke viel schärfer und deutlicher erkennbar. Neben ihm erscheint dann, meist ziemlich undeutlich, vorübergehend ein drittes Bild.

Die Erklärung hierfür kann, mit einer gewissen Schematisierung, ungefähr in folgender Weise gegeben werden: Das gebrochene Strahlenbündel verhält sich etwa so, als wenn es 3 verschieden große Brennweiten hätte. In dem geschilderten Versuche wurde zunächst bei positivem Einstellungsfehler

für alle 3 Brennpunkte jener Abstand aufgesucht, wo das dem am weitesten nach vorn (hornhautwärts) gelegenen Brennpunkte entsprechende Bild noch eben zum Erkennen deutlich war. Bei Vorschieben der Blende werden zunächst hauptsächlich die diesem Brennpunkte zugehörigen Strahlen abgeblendet, so dass vorwiegend die der beiden anderen mit ihrer etwas größeren Brennweite am Zustandekommen des Netzhautbildes beteiligt sind; bei weiterem Vorschieben des Schirmes werden die verhältnismäßig großen Zerstreuungskreise der letzteren durch die künstliche Pupillenverengerung verkleinert und dem entsprechend wird dieses Netzhautbild dann schärfer und deutlicher erkennbar. In der That kann man leicht wahrnehmen, wie während des Vorschiebens das erste Bild allmälig blasser, das zweite gleichzeitig schwärzer wird; (für die Erkennbarkeit der Buchstaben kommen noch Nebenumstände, wie ihre Form, Weite der Pupille u. s. w. in Betracht). Die Schematisierung liegt, wie man sieht, großenteils darin, dass das, was hier der Einfachheit halber als Brennpunkt dargestellt ist, in Wirklichkeit relativ hellsten Stellen der Zerstreuungsfläche an verschiedenen Partien des Strahlenbündelquerschnittes entspricht.

Nebenstehende Figur kann die hier in Betracht kommenden Verhältnisse in ihren wesentlichen Punkten grob schematisch, und unter Vernachlässigung aller nicht unmittelbar hierhergehörigen Umstände veranschaulichen.

Fig. 42.



Es seien *o* und *u* die Sonderbrennpunkte der z. B. von der oberen und unteren Hälfte des dioptrischen Apparates entworfenen Bilder (in dem oben angegebenen Sinne). Kommt die dem Punkte *o* entsprechende Stelle auf die Netzhaut zu liegen, so kann ein verhältnismäßig deutliches Bild gesehen werden trotz der großen Zerstreuungskreise der unteren Hälfte; wird die obere Hälfte durch Vorschieben eines Schirmes allmählich abgeblendet, so kann das Gesamtbild vorübergehend undeutlich werden. Das dem Punkte *u* entsprechende Bild tritt erst deutlicher hervor, wenn die Zerstreuungskreise des nach *u* ziehenden Strahlenkegels durch weiteres Vorschieben des Schirmes genügend klein geworden sind.

Wenn bei einer bestimmten, unveränderten Einstellung des Auges ein Gegenstand (innerhalb gewisser Grenzen) dem Auge genähert oder von ihm entfernt wird, so können nach dem Gesagten unter Umständen bei den verschiedenen Abständen verschiedene Teile des gebrochenen Strahlenbündels für das Erkennen des Objektes maßgebend werden.

Für das Sehen in Zerstreuungskreisen ist also nicht lediglich die absolute Größe der letzteren (hier als kreisförmig angenommenen) maßgebend.

sondern auch die Lichtverteilung in ihnen. Somit kann die wirkliche Akkommodationslinie wesentlich größer sein, als die theoretisch für das reduzierte Auge unter gewissen Voraussetzungen über die Leistungsfähigkeit der Netzhaut berechnete, falls man nach dem Gesagten überhaupt noch von einer Akkommodationslinie bei dem wirklichen Auge reden will. Die jedem einzelnen der fraglichen Sonderbrennpunkte zugehörigen Akkommodationslinien sind verhältnismäßig groß und überdecken einander im Allgemeinen auf einer mehr oder weniger großen Strecke.

§ 47. Im Glaskörper kann man bei der entoptischen Untersuchung teils wirkliche Trübungen, teils durchsichtige Körperchen von anderem Brechungsindex wie der Glaskörper selbst wahrnehmen. Sie werden gewöhnlich unter der Bezeichnung mouches volantes zusammengefasst und sind bekanntlich zum Teile auch ohne jegliches Hilfsmittel sichtbar. Die am regelmäßigsten vorkommenden unter ihnen sind die bekannten, sehr kleinen, runden, zum Teil zu »Perlschnüren« aneinander gereihten Körperchen, die im hintersten Glaskörperabschnitte, ca. $^1/_3$—4 mm vor der Netzhaut, schweben. Durch Bewegungen des Auges geraten sie in lebhafte Bewegung und ziehen danach bei ruhendem Auge meist langsam nach oben (im entoptischen Bilde nach unten). Bei Heben und Senken des Kopfes ändern sie ihren Abstand von der Netzhaut nur wenig. Sie bestehen nach Donders im wesentlichen aus blassen Zellen und Zellresten im Zustande der Schleimmetamorphose. Vom dioptrischen Standpunkte beanspruchen sie insofern Interesse, als sie imstande sind, für sich besondere optische Bilder auf der Netzhaut zu entwerfen. Herr Prof. Ambronn in Jena machte mich auf folgende Beobachtung aufmerksam: Wenn man durch ein feines, vor das Auge gehaltenes Drahtgitter gegen eine gleichmäßig helle Fläche blickt, so sieht man auf dieser an verschiedenen Stellen kleine rundliche oder unregelmäßig begrenzte Flecke, von feinen, sich kreuzenden dunklen Linien durchzogen; diese Flecke ziehen, wenn das Auge nach einer kurzen Bewegung wieder ruhig gehalten wird, ebenso wie die Perlschnüre nach unten und zeigen auch mehr oder weniger ausgesprochen die Anordnung und Gruppierung der letzteren in dem betreffenden Auge. Ich sehe sie noch deutlich, wenn ich bei entspannter Akkommodation das Gitter 10—15 cm vom Auge entfernt halte. Die Gitterfigur zeigt in den verschiedenen Flecken verschiedene Schärfe.

Der Nachweis, dass es sich wirklich um ein reelles, umgekehrtes Bild handelt, das durch diese kleinen Gebilde des Glaskörpers auf der Netzhaut entworfen wird, lässt sich u. a. dadurch erbringen, daß man vor die Pupille einen Schirm mit einem feinen V förmigen Ausschnitte hält. Man sieht dann die Perlschnüre, wie die einzelnen runden Gebilde sehr deutlich, sämtlich aus feinen, zum Teil einander deckenden V förmigen Figuren gebildet. Da die

kleinen, diese Bilder entwerfenden Linsen im allgemeinen angenähert kugelig sein dürften, so müssen die Bilder mit beträchtlicher sphärischer Aberration behaftet sein: ihre Schärfe ist verschieden, weil sich die Linsen in verschiedenem Abstande von der Netzhaut befinden und wohl auch verschieden große Krümmungsradien haben.

Von einem leuchtenden Punkte wird also außer dem Hauptbilde durch diese Linsen eine sehr große Zahl kleiner Bilder auf der Netzhaut entworfen, die bei größerem Objektabstande im allgemeinen etwas vor der Netzhaut liegen dürften, auf der Netzhaut also mehr oder weniger große Zerstreuungsfiguren bilden; sie sind durchschnittlich so lichtschwach, dass sie im allgemeinen keinen merklichen Einfluss auf die Schärfe des Sehens haben.

Im Anschlusse an das bisher Mitgeteilte mögen noch einige interessante Beugungserscheinungen am Auge kurz besprochen werden, in erster Linie die farbigen Diffraktionsringe, die man unter verschiedenen Umständen um hellleuchtende Punkte (Flammen u. s. w.) wahrnimmt. Am bekanntesten ist ein bei weiter Pupille von den meisten Menschen wahrgenommener Ring, der die Regenbogenfarben derart zeigt, dass das Violett nach der Mitte, das Rot nach der Peripherie zu liegt und dessen Radius für gelbe Strahlen einem Winkelwerte von 3—3° 30′ entspricht. Er ist zuerst (angenähert gleichzeitig) von Donders und von Beer (1851) beschrieben, später von Haffmanns u. a., neuerdings von Druault und Salomonsohn (1898) untersucht worden. Bedeckt man die Pupille zur Hälfte, so fallen gleichzeitig 2 einander gegenüberliegende Quadranten des Ringes weg, von welchen der eine (angenähert) der Lage des verdeckenden Schirmes entspricht. Dieser (meist als der Donders'sche bezeichnete) Ring kommt durch Beugung an den Elementen der Linse zustande, wie Druault bei Tierlinsen nachweisen konnte. Er ist meist nicht in allen seinen Teilen gleich hell; bei passender Verminderung der Lichtstärke sah ich ihn in einzelne (4—6) voneinander getrennte Bruchstücke zerfallen.

Einen zweiten, von Vielen wahrgenommenen Ring von 2—2,25° Durchmesser bezieht Druault auf das Hornhautendothel; er konnte ihn mit präparierten Hornhäuten hervorrufen; nach Wegschaben des Endothels verschwand derselbe. Andere, seltener zu beobachtende Ringe bezieht Druault vermutungsweise auf Hornhaut- und Linsenepithel.

Unter den pathologischen Beugungsringen interessiert in erster Linie jener bei Glaucom, der auf Beugung des Lichtes in den tieferen Hornhautepithelschichten zu beziehen ist. Ferner sind noch Ringe zu erwähnen, die bei Verletzung der oberflächlichen Epithelschicht der Hornhaut durch Wasser, Osmiumsäure, Conjunctivitiden u. s. w. gesehen worden sind, sowie solche, die durch kleine Fettteilchen und Leukocyten auf der Hornhautoberfläche bedingt scheinen. Die durch Osmium hervorgerufenen

werden vielfach nach ihrem ersten Beobachter als Wöhler'sche (auch als Meyer'sche) Ringe beschrieben.)

§ 48. Endlich ist noch die Bedeutung der Beugung des Lichtes am Pupillenrande für das Zustandekommen des Hauptbildes auf der Netzhaut zu erörtern.

Die von einem selbstleuchtenden Punkte ausgehenden Lichtstrahlen erfahren an den Pupillenrändern eine Ablenkung durch Beugung, die zur Folge hat, dass selbst bei völlig aberrationsfreiem System das Bild des Objektpunktes nicht wieder als Punkt, sondern als kleine helle Scheibe (»Beugungsaureole«) sich darstellt; diese ist von einer Anzahl koncentrischer Ringe umgeben, deren Helligkeit und gegenseitiger Abstand nach der Peripherie hin rasch abnimmt. Der Durchmesser D dieser Scheibe ermittelt sich nach einer von Schwerd (1835) angegebenen Formel: $D = 2{,}44 \cdot \frac{\lambda f}{p}$, worin λ die Wellenlänge des benutzten Lichtes, p den Pupillendurchmesser und f den Abstand der Pupille von der Netzhaut bedeutet, der für das reduzierte Auge der hinteren Brennweite des Auges gleich gesetzt werden kann.

Der Durchmesser des scheibenförmigen Netzhautbildes eines leuchtenden Punktes beträgt demnach bei Licht von mittlerer Wellenlänge ($\lambda = 500\ \mu\mu$)

für einen Pupillendurchmesser von	6 mm	=	0,0040 mm
» » » »	4 »	=	0,0061 »
» » » »	2 »	=	0,0122 »
» » » »	1 »	=	0,02436 »

Diese Werte gelten für ein aberrationsfreies Auge. Das wirkliche Netzhautbild eines leuchtenden Punktes wird aber stets eine nicht unwesentlich größere Fläche decken, einmal wegen der sphärischen Aberration und der vielen Unregelmäßigkeiten des dioptrischen Apparates, dann wegen der Chromasie des Auges (s. u.). Ist das Auge auf Strahlen von mittlerer Wellenlänge eingestellt, so bilden die roten und violetten Strahlen des Spektrums an dieser Stelle eine Zerstreuungsfläche von 0,0426 mm Durchmesser (v. Helmholtz), die aber im Verhältnis zu den mittleren Teilen des Bildes äußerst lichtschwach ist.

Ferner sind bei der Berechnung des Durchmessers des Beugungsbildes die koncentrischen Kreise außer acht gelassen, die die centrale Scheibe umgeben; auch sie haben im Verhältnis zum mittleren Bilde eine sehr geringe Lichtstärke.

§ 49. Die Ansicht ist verbreitet, dass die Zapfen der Netzhaut nicht nur anatomisch, sondern auch funktionell das Empfindungselement des Raumsinnes seien. Experimentellen wie theoretischen Untersuchungen wird vielfach die Annahme zu Grunde gelegt, dass es möglich sei, objektive

Netzhautbilder von der Größe eines Zapfens zu erzeugen. Für die Durchmesser der Zapfen sind bisher folgende Werte angegeben worden: Kölliker fand für die Zapfen in der Macula 4,5—5,4 μ; zu fast genau gleichem Werte ist neuerdings (1895) Koster gekommen (4,4 μ). Max Schultze maß die Dicke der gehärteten Innenglieder der fovealen Zapfen zu 2—2,5 μ und nahm für die frischen 2,8 μ an, H. Müller 1,5—2 μ, Welcker 3,1—3,5 μ, Kuhnt 2—2,5 μ. Greeff fand für die Dicke der Foveazapfen 2,5 μ, Dimmer 3—3,5 μ. Auch wenn wir die größten Werte 4,5—5,4 μ als richtig annehmen, so zeigt sich, dass bei der mittleren Pupillenweite von 4 mm allein infolge der Beugung, in einem von sphärischer und chromatischer Aberration freien Auge, das Netzhautbild eines leuchtenden Punktes noch größer als ein Zapfen sein muss. Sind aber die Schultze'schen und Müller'schen Werte maßgebend, dann wird das fragliche kleinste Netzhautbild durchschnittlich einen Durchmesser haben, der jenem von 2 bis 3 Zapfen entspricht. Je enger die Pupille wird, desto größer wird das Beugungsbild auf der Netzhaut. Wollte man nun, um zu gewissen Versuchen das Netzhautbild möglichst klein zu machen, etwa mit künstlich erweiterter Pupille arbeiten, so würde man damit den gewünschten Zweck nicht erreichen, denn die durch die Form der brechenden Flächen sowie durch die chromatische Aberration bedingten Abbildungsstörungen nehmen mit Erweiterung der Pupille beträchtlich zu. Wie groß die durch die sphärische Aberration der brechenden Flächen allein bedingten Störungen sind, wurde schon früher angeführt; ich erinnere daran, dass Gullstrand den Refraktionsunterschied zwischen dem Centrum der optischen Zone und einem nur 2 mm davon entfernten Punkte im normalen Auge = 4 Dioptrien fand.

Somit ist es vom rein physikalischen Standpunkte ganz ausgeschlossen, dass von einem leuchtenden Objektpunkte ein Bild vom Durchmesser eines Zapfens auf der Netzhaut zustande kommt, wenn man auch die lichtschwächeren Teile des Beugungsbildes und die chromatische Aberration in Betracht zieht. Aber selbst wenn man diese außer acht läßt und nur das lichtstarke Hauptbild berücksichtigt, ist es mehr als unwahrscheinlich, dass man ein Netzhautbild von der Größe eines Zapfens erzeugen kann. Zudem haben auch die physiologischen Versuche von Aubert und neuerdings von Asher (1897) in hohem Grade wahrscheinlich gemacht, dass die Erzeugung so kleiner Netzhautbilder nicht möglich ist. Asher hat gezeigt, dass bis zu einem Sehwinkel von 2—3 Minuten die scheinbare Größe sehr kleiner Gegenstände für das von ihm benutzte Intervall der Lichtstärke ausschließlich von ihrer Lichtmenge abhängt. Ricco hatte schon früher (1877) gefunden, dass an der Grenze des Wahrnehmbaren das Produkt aus Fläche und Lichtmenge konstant ist. Hieraus ergiebt sich, dass die kleinsten wahrnehmbaren Netzhautbilder nicht kleiner als 2—3′ sein werden.

3′ würden aber selbst für einen Zapfendurchmesser von 4,5 μ einer Gruppe von 7 Zapfen entsprechen.

§ 50. Nach dem Gesagten kommt auch bei genauester Einstellung auf ein punktförmiges Objekt nicht ein punktförmiges Netzhautbild zustande, sondern ein (im allgemeinen angenähert kreisförmiges) »Aberrationsgebiet« von einer gewissen Ausdehnung. Als Lichtfläche können wir mit Hering und Mach die Fläche bezeichnen, die entsteht, wenn man auf jedem Punkte des Aberrationsgebietes Ordinaten errichtet, deren Größe der Intensität der Bestrahlung des zugehörigen Bildpunktes entspricht. Wir würden die Lichtfläche nur dann genau bestimmen können, wenn uns sämtliche dioptrischen Verhältnisse des konkreten Falles genau bekannt wären, die sich bis jetzt einer Bestimmung großenteils entziehen. Für die räumliche Wahrnehmung ist nicht die Lichtfläche maßgebend, sondern die von ihr streng zu trennende Empfindungsfläche, die wir erhalten, wenn wir die Ordinaten der einzelnen Punkte des Aberrationsgebietes proportional machen denjenigen Helligkeiten, in welchen die bezüglichen Punkte erscheinen; die Empfindungsfläche kann von der Lichtfläche sowohl in der Form, als in der Größe verschieden sein, denn die scheinbaren Helligkeiten sind den objektiven Lichtstärken nicht proportional. Da ferner die Intensität der Bestrahlung einen gewissen Grad erreichen muss, um eine Lichtempfindung auszulösen, so wird im allgemeinen die Empfindungsfläche kleiner sein, als die Lichtfläche. Von wesentlichem Einfluss auf die Form der Empfindungsfläche ist auch die Wechselwirkung der Sehfeldstellen, der auf Kontrast beruhende subjektive Helligkeits- bezw. Dunkelheitszuwuchs an der Grenze von Hell und Dunkel. (Vgl. Hering, Hermann's Handb. d. Physiol. Bd. 3, 2 S. 440.)

§ 51. Größtenteils auf Grund der irrigen Vorstellung von einer gleichmäßigen Verteilung der Helligkeit im Zerstreuungskreise ist mehrfach die Meinung geäußert worden, dass 2 nicht scharf gesehene Punkte erst dann gesondert wahrgenommen werden könnten, wenn ihre Zerstreuungskreise mindestens um ihren Durchmesser voneinander entfernt wären (Fig. 43 *a*).

Fig. 43.

a *b*

Thatsächlich können sie aber (wenn der Berechnung das schematische Auge zu Grunde gelegt ist), schon bei geringerem gegenseitigem Abstande gesondert wahrgenommen werden, d. h. wenn die Zerstreuungskreise nach der Berechnung der Netzhautbildgrößen mehr oder weniger weit ineinander übergreifen. So fand z. B. Salzmann, dass ein Kurzsichtiger zwei Punkte getrennt sehen konnte, für welche die Mitten der Zerstreuungskreise nach der Berechnung nur um $^2/_7$ ihres Durchmessers

voneinander entfernt waren. SALZMANN ist geneigt, dies lediglich durch den normalen, irregulären Astigmatismus zu erklären. Nach dem oben Gesagten dürfte den erwähnten physiologischen Verhältnissen der Netzhaut selbst dabei wesentliche Bedeutung zukommen, denn zwei einander berührenden oder auch zum Teil einander überdeckenden Lichtflächen können wohl gesonderte Empfindungsflächen zugehören.

Das Sehen in Zerstreuungskreisen unterscheidet sich von jenem bei genauer Einstellung des Auges nur dem Grade nach, da es sich auch bei letzterer, wie wir sahen, nicht um punktförmige, sondern um flächenförmige Bilder punktförmiger Objekte handelt. Dass wir trotz der so außerordentlich mangelhaften optischen Bedingungen und der entsprechend unscharfen objektiven Netzhautbilder eine verhältnismäßig so große Distinktionsfähigkeit besitzen, ist wesentlich auf die physiologischen Umstände der Wechselwirkung der Sehfeldstellen, den Einfluss des Kontrastes zurückzuführen. Ohne diese wäre unser Sehen äußerst mangelhaft.

§ 52. Werden 2 feine, helle Punkte bei unveränderter Entfernung vom Auge einander genähert oder bei gleichbleibendem gegenseitigem Abstande vom Auge entfernt, so rücken die beiden Netzhautbilder näher aneinander, bis schließlich die beiden Empfindungsflächen einander berühren und die Punkte nicht mehr gesondert wahrgenommen werden können. Den Grenzwert des Abstandes, bis zu welchem die Objektpunkte einander genähert werden können, während sie noch deutlich gesondert erscheinen, pflegt man in der Ophthalmologie als Grundlage für die messende Bestimmung der »Sehschärfe« mittels Buchstaben, Zahlen, Punkten etc. zu benutzen. Dabei geht man stets von der Voraussetzung aus, dass den punktförmigen Objekten punktförmige Netzhautbilder (und diesen gleich große Empfindungsflächen) entsprechen und berechnet den gegenseitigen Abstand der Bilder nach den Werten des schematischen oder des reduzierten Auges. Nach den Erörterungen des vorigen Paragraphen ist ersichtlich, dass hierdurch unter Umständen beträchtliche Abweichungen von den thatsächlichen Verhältnissen eingeführt werden können. (Außerdem kommen für die Erkennung von Buchstaben u. Zahlen z. T. ganz andere Umstände in Betracht, als für die Unterscheidung von Punkten (s. unt.). Vorderhand müssen wir uns aber, wenigstens für eine Reihe von Untersuchungen, mit jener schematischen Berechnungsweise begnügen, da uns noch die Möglichkeit fehlt, die absoluten Größen der Licht- und der Empfindungsflächen zu bestimmen.

Als »kleinstes Netzhautbild« kann man den in der angedeuteten Weise berechneten Abstand der beiden Bildpunkte bezeichnen, bei welchem die Objektpunkte eben noch deutlich getrennt wahrgenommen werden. Seine Größe wird bei gleichem optischem Apparate durch die Lichtstärke der Objektpunkte bezw. den Unterschied zwischen der Lichtstärke von Objekt

und Grund, bei Untersuchung mit nicht punktförmigen Objekten auch durch die Form der Sehobjekte wesentlich beeinflusst. Unter sonst gleichen Bedingungen wird die Sehschärfe eines Auges dem kleinsten Netzhautbilde umgekehrt proportional sein (soferne nur Bilder in Betracht kommen, die nicht wesentlich größer sind, als der foveale Netzhautbezirk).

§ 53. Die von den beiden Endpunkten des kleinsten Netzhautbildes durch den Knotenpunkt des reduzierten (bezw. den hinteren Knotenpunkt des schematischen) Auges gezogenen Strahlen schließen einen Winkel ein, den man als den kleinsten Gesichtswinkel (Distinktionswinkel) bezeichnen kann. Er ist gleich dem Winkel, den die von den Endpunkten des zugehörigen Objektes zum Knotenpunkte des reduzierten (bezw. vorderen Knotenpunkte des schematischen) Auges gezogenen Strahlen einschließen.

Die Messungen mittels dunkler Punkte oder Linien auf hellem Grunde haben für diesen Winkel einen durchschnittlichen Wert von ca. 1 Minute ergeben. (Helmholtz bei Messungen mit einem Drahtgitter 63,75″, Hirschmann mit parallelen Drähten 50″, Tob. Mayer bei Anwendung paralleler Linien mit gleichen Zwischenräumen 94″, Volkmann mit Spinnwebfäden für seine Augen 147,5″, für die Augen einer anderen Person 80,4″.)

Dem mittleren Werte von 1 Minute entspricht im reduzierten Auge eine Netzhautbildgröße (die gleich der doppelten Tangente des halben Gesichtswinkels ist) von 0,00436 mm, was ungefähr den Kölliker'schen Werten für den Durchmesser der macularen Zapfen entspricht.

Man sah daher in den angeführten Messungen eine Stütze für die Annahme, dass »jeder einzelne Zapfen seine eigene, abgesonderte Nervenleitung zum Gehirn hat und dass dementsprechend die in ihm erregte Empfindung von qualitativ gleicher Empfindung in den benachbarten Zapfen unterschieden werden kann« (Helmholtz). Nach einer solchen Auffassung können zwei helle Punkte nur dann als zwei erkannt werden, wenn der Abstand ihrer Bilder — diese als punktförmig angenommen — größer ist als die Breite eines Netzhautelementes. (Nach dem vorhergehenden wäre besser zu sagen, es sei zur Auflösung der Doppelpunkte nötig, »dass die Irradiationsgebiete der beiden Netzhautbilder sich nicht so weit übereinander schieben dürfen, dass nicht zwischen zwei belichteten Sehfeldelementen ein merklich minder belichtetes noch Platz hat« (Hering)).

(Hering und Best haben darauf hingewiesen, dass es nicht angängig ist, aus solchen Messungen mit Doppelpunkten zuverlässige Schlüsse auf die Größe der Zapfen zu ziehen, da dieselben höchstens Maximalwerte für die Zapfengröße geben können. Auch zeigte Best, dass die v. Helmholtz'sche Berechnungsweise, die für die Sehschärfe zu einem Winkel von 60″ oder 50″ geführt hatte, um $^1/_6$ zu große Werte ergiebt.)

Untersuchungen mit anderen als den vorhin erwähnten Sehobjekten haben für die fraglichen Grenzen von den angeführten wesentlich verschiedene Werte ergeben. So zeigte sich bei Bestimmung der Unterschiedbarkeit von Doppelsternen, dass im allgemeinen nur solche Sterne als zwei erscheinen, die unter einem Winkel von ca. 5 Min. gesehen werden. Aubert konnte unter sehr günstigen Verhältnissen, aber auch nur auf kurze Momente, Doppelsterne bei einem Gesichtswinkel von 3′30″ unterscheiden. Die viel citierte Angabe Hooke's (1705), nach der 2 Sterne noch gesondert sollen wahrgenommen werden können, wenn sie unter einem Winkel von 1 Min. erscheinen, wird von Mädler, Mauthner und anderen als unglaubwürdig bezeichnet.

§ 54. Die Werte der Gesichtswinkel, welche mit den bisher besprochenen, von Helmholtz, Mayer u. a. benutzten Methoden erhalten sind, werden gewöhnlich als Maß der Sehschärfe benutzt. In Wirklichkeit wird mit ihnen aber nur die Grenze des optischen Auflösungsvermögens, nicht aber die eigentliche Feinheit des optischen Raumsinnes gemessen; denn man misst dabei nicht die kleinste Verschiedenheit der Lage bezw. Größe, welche das Auge noch zu erkennen vermag. Es ist das Verdienst E. Hering's, zuerst die Bedeutung einer solchen Unterscheidung klargestellt zu haben.

Messungen über die kleinsten erkennbaren Lageverschiedenheiten hat zuerst Volkmann (1863) angestellt: er fand z. B., dass zwei nebeneinander befindliche, durch feinste Drähte abgegrenzte Strecken von bestimmter Größe noch deutlich unterschieden werden konnten, wenn er die eine um einen Wert vergrößerte bezw. verkleinerte, der einer Sehwinkeldifferenz von nur 12,4 Sekunden entsprach. Er schloss daraus, dass die Netzhautzapfen nicht als Raumelemente beim Sehen fungieren. Zu ähnlichen Werten wie Volkmann kam mittels einer ganz anderen Methode Wülfing: Ein Spalt von ca. $^1/_3$ mm Breite war so eingerichtet, dass man den unteren Teil desselben gegen den oberen, feststehenden messbar verschieben konnte.

(Einer brieflichen Mitteilung des Herrn Dr. Tschermak zufolge findet sich im Nachlasse Volkmann's ein anscheinend zu ähnlichen Versuchen bestimmter noniusartiger Apparat: doch fehlen Angaben über etwa damit ausgeführte Messungen.)

Wülfing erkannte noch Verschiebungen, die einem Gesichtswinkel von ca. 10—12″ entsprachen. Das zugehörige Netzhautbild hätte eine Größe von 0,00089 mm. Um die Theorie von der Rolle der Zapfen als Seheinheiten mit seinen Messungen in Einklang zu bringen, glaubte Wülfing annehmen zu müssen, dass der Durchmesser bezw. die Achsendistanz der Zapfenspitzen an der Stelle des deutlichsten Sehens entsprechend kleiner sei, als bisher angenommen worden war. Er nimmt an, dass der Abstand der fovealen Zapfenspitzen ihren Durchmesser (nach M. Schultze = 0,6 μ) nicht wesentlich übertreffe.) Hering zeigte, dass weder der Volkmann'sche

noch der Wülfing'sche Schluss zwingend sind und dass auch diese Beobachtungen mit der üblichen Annahme über die Sehfeldelemente in Einklang gebracht werden können (deren Richtigkeit er übrigens dahingestellt lässt).

Hering hat die Frage nach den Grenzen der Sehschärfe mit Hilfe des binocularen Sehens untersucht. Er benutzte eine Glastafel, auf welcher in einem der Pupillendistanz entsprechenden gegenseitigen Abstande sich jederseits mehrere Gruppen von 5 mm hohen Strichen befanden, deren gegenseitiger Abstand für das eine Auge ziemlich genau 1 mm, für das andere zum Teil um kleine Bruchteile eines Millimeters größer oder kleiner war. Bei binocularer Verschmelzung erschienen einzelne Striche deutlich näher oder ferner als ihre Nachbarn. Die Messung ergab, dass Abstandsunterschiede der Striche, denen ein Gesichtswinkel von 11 Sekunden entsprach, einen noch sicher merklichen Entfernungsunterschied im Verschmelzungsbilde zu bewirken vermochten. F. Hofmann erhielt mit der gleichen Methode als Grenzwert 11—12″. Pulfrich hatte schon früher auf ähnlichem Wege 10 Sekunden und noch weniger als Grenzwert des binocularen stereoskopischen Sehens ermittelt. Zu noch kleineren Werten ist später bei Binocularmessungen Heine gekommen.

Hering zeigte ferner, dass auch diese wesentlich kleineren Werte sich nach der üblichen Auffassung der Zapfen als räumlicher Seheinheiten erklären lassen.

Ich gebe die Hering'sche Erklärung mit seinen eigenen Worten für einen schematischen Fall, aus dem sich ein entsprechendes Verhalten für andere Fälle unschwer ableiten lässt.

»Eine zur einen seitlichen Hälfte schwarze, zur anderen weiße Fläche sei durch einen horizontal und rechtwinklig zur geraden Grenzlinie des Weiß und Schwarz geführten Schnitt in eine obere und untere Hälfte geteilt, und die untere Hälfte gegen die obere mittels Mikrometerschraube verschiebbar. Solange beide Hälften der vertikalen Grenzlinie in einer Flucht liegen, sehen wir eine einzige gerade Linie, deren scheinbare Lage bestimmt ist durch die Raumwerte (Breitenwerte) sämtlicher Sehfeldelemente, auf welche das Bild der Linie zu liegen kommt. Setzen wir den idealen, aber vielleicht nie genau verwirklichten Fall, dass die betroffenen Sehfeldelemente in geraden und zufällig dem Bilde der Grenzlinie parallelen Reihen angeordnet wären, so ergeben sich

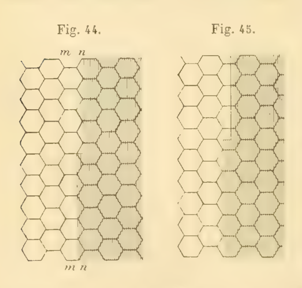


Fig. 44. Fig. 45.

zunächst zwei, durch die Figuren 44 und 45 versinnlichte Möglichkeiten. Fig. 44 zeigt uns die untere Bildhälfte der Grenzlinie des Weiß auf der Elementenreihe *mm*

derart liegend, dass eine kleine Verschiebung, wie sie die obere Hälfte des Linienbildes bereits zeigt, zureichend ist, um außer den schon betroffenen auch noch Elemente der Reihe *n n* durch das Licht der weißen Flächenhälfte zu erregen. Sobald nun die Erregung der letztgenannten Elemente groß genug wird, um merklich zu werden, wird auch die Lageverschiedenheit der beiden Linienhälften merklich werden können, insoweit unsere Annahme richtig ist, dass je zwei benachbarten Sehfeldelementen eben merklich verschiedene Ortswerte zukommen. Freilich wird eine kleine Verschiebung des Linienbildes auf der Netzhaut hinreichen, um beide Linienhälften wieder auf eine und dieselbe Elementenreihe von durchgängig gleichem Breitenwert zu bringen, wie es Fig. 45 zeigt; aber eine kleine abermalige Verschiebung des Auges in derselben oder in entgegengesetzter Richtung wird beide Linienhälften wieder auf Reihen verschiedenen Breitenwertes schieben, und so kann die zwar vorübergehende, aber sich wiederholende Merklichkeit der Lageverschiedenheit genügend sein, die letztere für die Wahrnehmung zu sichern.«

Best hat mit der vorstehend angedeuteten Hering'schen Vorrichtung Versuche angestellt und selbst eine Verschiebung, die $2^1/_2{}''$ entsprach, noch von Einfluss auf die Wahrnehmung gefunden. Eine Verschiebung der Linien wurde bei senkrechter Lage derselben am ehesten erkannt, demnächst bei horizontaler Lage, bei 45° Neigung und bei Schrägstellung.

Die chromatische Aberration.

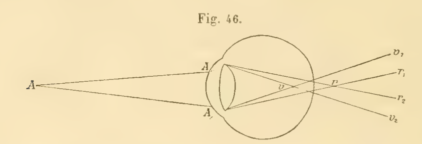
§ 55. Eine weitere Abweichung von der punktförmigen Abbildung ist bedingt durch die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen verschiedener Wellenlänge. Hierdurch werden die Erscheinungen der chromatischen Aberration hervorgerufen

Euler hatte das Auge für achromatisch gehalten und schloss daraus auf die Möglichkeit der Herstellung achromatischer Fernrohre; so führte die irrige Voraussetzung zu der Entdeckung achromatischer Linsenkombinationen; Newton hielt die Herstellung solcher Gläser für unmöglich, weil er an der Meinung festhielt, die Dispersion brechender Medien sei ihrem Brechungsvermögen proportional. Er kannte die Chromasie des Auges und beschrieb zuerst die farbigen Säume, die an der Grenze schwarzer und weißer Felder auftreten, wenn man eine undurchsichtige Blende dieser Grenze parallel dicht vor dem Auge bis zur Pupillenmitte vorschiebt.

Die Erklärung für diese Wirkung des partiellen Verdeckens der Pupille ist einfach: Wenn das Auge einen weißen Punkt fixiert, so wird es im allgemeinen eine solche Einstellung wählen, dass die Netzhautebene der Vereinigungsstelle der mittleren (etwa der gelb-grünen) Strahlen des Spektrums entspricht. Die violetten Strahlen vereinigen sich dann vor der Netzhaut in *v*, die roten hinter ihr in *r*. In der Netzhautebene kommen dabei die farbigen Komponenten vom langwelligen Ende des dem Strahle $A\,A'$ zugehörigen Spektrums mit Komponenten vom kurzwelligen Ende des dem Strahle $A\,A''$ zugehörigen Spektrums zur Deckung, die untereinander zum Teile angenähert komplementär sind. Das Objekt erscheint also farblos, nur von einem feinen, rot-violetten Saume umgeben, der im allgemeinen nicht leicht sichtbar ist, da seine Strahlen dem äußersten Ende des

Spektrums angehören und verhaltnismäßig sehr lichtschwach sind. Verdeckt man die Pupille aber bis zur Mitte zwischen A' und A'' z. B. von unten her, so kann man sich das durch die obere Hornhaut- und Linsenhälfte gehende Strahlenbündel etwa so wie durch ein Prisma abgelenkt vorstellen, so dass auf der Netzhaut jetzt das Spektrum $r_2 v_2$ entworfen wird.

Fig. 46.



Joh. Müller (Phys. d. Gesichtssinnes p. 196) giebt eine übersichtliche Zusammenstellung der einfachsten Erscheinungen der Chromasie des Auges, wie sie bei partiellem Verdecken der Pupille und bei ungenauer Einstellung des Auges sichtbar werden. Beim Scheiner'schen Versuche zeigt die vorgehaltene Nadel farbige Säume; blickt man durch eine feine runde Öffnung nach einem leuchtenden Punkte, so erscheint dieser farblos, wenn die Öffnung sich vor der Pupillenmitte befindet; wird sie gegen den Pupillenrand hin verschoben so erscheint der Punkt in ein Spektrum verzogen, dessen rotes Ende jeweils gegen die Pupillenmitte gerichtet ist. Je weiter die Pupille ist, um so stärker ausgesprochen wird die Chromasie. Bei durch Atropin erweiterter Pupille erscheinen alle dunklen Objekte mit heller Begrenzung farbig gesäumt.

Besonders deutlich treten die Farbenerscheinungen hervor bei Anwendung kobaltblauer oder violetter Gläser, die nur die roten und blauen bezw. violetten Strahlen des Spektrums durchlassen. Blickt man durch ein solches nach einem feinen leuchtenden Punkte, so erscheint dieser als roter bezw. blauer Punkt mit blauem bezw. rotem Zerstreuungskreise, je nachdem das Auge auf den Vereinigungspunkt der schwächer oder der stärker brechbaren Strahlen eingestellt ist.

Eine gute Methode zum Nachweise der Farbenzerstreuung giebt Tumlirz an:

Man bringt einen sehr dünnen, zu einem Kreise von 2 cm Durchmesser gebogenen Platindraht im Saume eines Bunsenbrenners zur gleichmaßigen Weißglut und betrachtet ihn aus einer Entfernung von 30—50 cm durch eine ungefähr 0,5 mm weite Öffnung in einem schwarzen Schirme. Man sieht dann den Außenrand des Ringes rot, den Innenrand blauviolett. Halt man ein mit Kobalt gefärbtes Glas dazwischen, so sieht man einen außeren roten und einen inneren blauen Ring, von einander getrennt durch einen dunklen Absorptions- Ring.

v. Bezold hat eingehend die Erscheinungen der Farbenzerstreuung beschrieben, die auftreten, wenn man Systeme von feinen, koncentrischen, weißen und schwarzen Ringen über den Nahepunkt an das Auge heranbringt.

Wenn man ein rechteckiges, auf einem weißen Schirme entworfenes Spektrum aus einiger Entfernung betrachtet und das Auge auf das rote Ende einstellt, so erscheint das violette Ende verwaschen, als schwalbenschwanzförmige Zerstreuungsfigur«.

§ 56. Die ersten Messungen über die Größe der Dispersion im Auge hat Fraunhofer angestellt, indem er bei festgehaltener Akkommodation das Ocular eines auf ein prismatisches Spektrum gerichteten Fernrohres verschob, bis ein im Fernrohre angebrachtes Fadenkreuz vollkommen scharf erschien. Aus der Verschiebung berechnete er, dass ein Auge, welches auf parallele Strahlen von der Wellenlänge der Linie *C* eingestellt ist, Strahlen von der Wellenlänge der Linie *F* nur dann gleichzeitig auf der Netzhaut vereinigen könnte, wenn diese von einem ca. 49—65 cm vor dem Auge gelegenen Punkte ausgingen, was also einer Differenz im Werte von 1,5 bis 2 Dioptrien entspräche. Ähnliche Werte fand Helmholtz an seinem eigenen Auge. Matthiessen berechnet, indem er den Abstand des mittels einer feinen Glasteilung gemessenen Nahepunktes an verschiedenen Stellen des Spektrums ermittelt, für den Abstand zwischen den Brennpunkten des roten und violetten Lichtes einen Wert von 0,58—0,62 mm. Während für ein aus destilliertem Wasser gebildetes schematisches Auge Helmholtz nur eine Differenz von 0,434 mm findet, bestimmt er für sein Auge etwas größere Werte.

M. Wolf fand (1887) mit einer von ihm angegebenen Methode für die Längenabweichung des roten Brennpunktes der Linie *B* vom violetten Brennpunkte der Linie *H* rund = 0,75 mm, für den Abstand der Brennpunkte für *C* und *G* = 0,5 mm.

Die letzten Messungen über die Größe der Dispersion rühren von Kunst her (1895). Er bestimmt die Brechungsindices der Medien des Auges für die Linien *D* und *F* und findet die Größe der Dispersion $(n_F - n_D)$ für Kammerwasser und Glaskörper = 0,004, für die Kortikalschicht der Linse = 0,005, für die mittleren und die Kernschichten = 0,006, in einer Kuhlinse 0,007, welchen letzteren Wert er seinen Rechnungen zu Grunde legt. Einthoven berechnete hieraus die Kardinalpunkte des schematischen Auges für die Strahlen *D* und *F*. Unter der Voraussetzung, dass der Index von Kammerwasser und Glaskörper für Licht von der Linie *D* = 1,337 (also für *F* = 1,341), jener der (als homogen angenommenen) Linse für *D* = 1,447, (also für *F* = 1,454) sei, berechnet er die hintere Brennweite für Licht von der Wellenlänge der Linie *D* zu 20,3300 mm, für *F* zu 20,0581; die Differenz beträgt also für das schematische Auge 0,2719 mm, während der entsprechende Wert für das reduzierte Auge nur 0,193 beträgt. Die Dispersion im schematischen Auge ist also etwas größer, als die für das reduzierte berechnete.

Wenn bei einem in Akkommodationsruhe für violette Strahlen eingestellten Auge der Vereinigungspunkt der roten Strahlen um 0,5—0,6 mm hinter der Netzhaut liegt, so hat der Zerstreuungskreis der letzteren auf der Netzhaut einen Durchmesser von ca. 0,1 mm. Bei Einstellung des Auges auf Strahlen mittlerer Wellenlänge ist der Durchmesser des Zerstreuungskreises der roten und violetten Strahlen = 0,0426 mm (Helmholtz).

Im allgemeinen ist die chromatische Aberration im Auge nicht groß genug, um unter gewöhnlichen Verhältnissen merkliche Sehstörungen zu bedingen. v. Helmholtz machte sein Auge durch Vorsetzen geeigneter Gläserkombinationen achromatisch, ohne eine Verbesserung des Sehvermögens dadurch zu erzielen. Trotzdem werden (überflüssigerweise) neuerdings achromatische Brillen im Handel empfohlen. (Da der Wert $n(F) - n(C)$ für Wasser = 0,006, für leichtes Silicat-Flintglas = 0,01327, also etwas mehr als doppelt so groß ist, als jener für Wasser, so wird, bei einer Brechkraft des optischen Systems des Auges von 60 Dioptrien, durch Vorsetzen eines konkaven Flintglases von ca. 30 Dioptrien das Auge annähernd achromatisiert; durch Vorsetzen einer achromatischen Kombination von geeigneter Stärke macht man das Auge dann noch emmetropisch.)

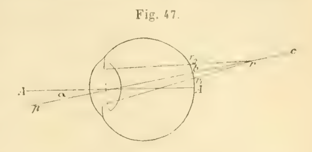
Dagegen haben die Erscheinungen der chromatischen Aberration insofern ein praktisches Interesse, als sie die Grundlage für verschiedene, dioptrisch wichtige Untersuchungsmethoden bilden. Ein kurzsichtiges Auge sieht durch ein violettes Glas einen entfernten Lichtpunkt als roten Fleck mit blauem Hofe, ein übersichtiges, nicht oder nicht genügend akkommodierendes dagegen als bläulichen Fleck mit rotem Hofe. Die chromatische Aberration ist unter Umständen ein feineres Mittel zur Feststellung nicht völlig genauer Einstellung des Auges, als z. B. die Verringerung der Sehschärfe. Bei der Konstruktion von Optometern ist man öfter von dieser Thatsache ausgegangen.

Gullstrand hat mit Hilfe der chromatischen Aberration experimentell den Nachweis für die Richtigkeit der von ihm durch Rechnung ermittelten Thatsache erbracht, dass das im Auge gebrochene Strahlenbündel astigmatisch von der zweiten Form (S. § 17) ist. Wäre das Strahlenbündel homocentrisch oder astigmatisch von der ersten Form, so müsste für ein kurzsichtiges (oder kurzsichtig gemachtes) Auge die blaue Zone zu beiden Seiten der mittleren roten Partie gleich breit sein. Ist das Bündel aber astigmatisch von der zweiten oder dritten Form, so muss für die am Auge ermittelten Verhältnisse der Teil der Strahlen, der nach der Brechung die nasale Netzhauthälfte trifft, eine breitere blaue Zone bilden, als der die temporale treffende. Der Punkt erscheint in der Mitte rötlich, umgeben von einer blauen Zone, die temporal nach außen breiter ist, als nach innen.

Einthoven veranschaulichte die excentrische Entstehung der Zerstreuungskreise der nicht auf der Netzhaut zur Vereinigung kommenden Strahlen (im Verhältnisse zu den auf der Netzhaut vereinigten durch

nebenstehendes Schema. AA sei die optische Achse des rechten Auges, pc die Gesichtslinie, die mit AA den Winkel α bildet, daher excentrisch durch die Pupille geht. Ist b der Vereinigungspunkt der blauen Strahlen, so vereinigen sich die roten bei r und bilden auf der Netzhaut den Zerstreuungskreis $r_1 r_2$, der wegen des excentrischen Durchganges der Gesichtslinie durch die Pupille auf der temporalen Seite von b breiter ist, als auf der nasalen.

Fig. 47.



Die Thatsache, dass die Zerstreuungskreise der von einem leuchtenden Punkte ausgehenden blauen und roten Strahlen auf der Netzhaut nicht zu einander koncentrisch gelegen sind, bedingt die interessanten Erscheinungen der sogen. Farbenstereoskopie. Blickt ein symmetrisch gebautes Augenpaar auf mehrere dicht bei einander in einer Ebene liegende rote und blaue Flächen, z. B. farbige Papierschnitzel auf dunklem Grunde, derart, dass z. B. die roten Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen, so werden die Zerstreuungskreise der von den blauen Objekten ausgehenden Strahlen auf beiden Netzhäuten eine gleichseitige Disparation haben, die entsprechenden Objekte (blauen Schnitzel) erscheinen daher in größerem Abstande als die roten. In der That sehen die meisten Menschen von roten und blauen, aneinander grenzenden Flächen, die sich in gleichem Abstande vom Auge befinden, die roten dem Auge deutlich näher als die blauen. Sehr eindringlich ist die Empfindung verschiedenen Abstandes, wenn man z. B. mehrere schmale Streifen roten und blauen Papiers zueinander parallel auf eine ebene Fläche aufklebt.

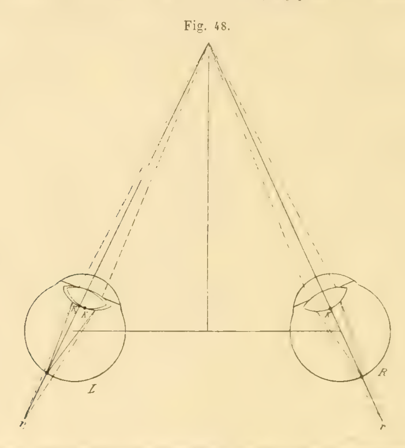
Die hierher gehörigen Erscheinungen sind zuerst von Brücke und von Hering untersucht und als Beweis dafür angeführt worden, dass das Auge »nicht richtig centriert sei, wenigstens nicht um die Gesichtslinie, wenn wir die Erscheinung im direkten Sehen wahrnehmen« (Brücke). Die gleichen Erscheinungen wurden später von Einthoven (1885) eingehender untersucht.

Durch excentrisch vor die Pupillen gehaltene kleine Blenden oder sphärische Gläser können diese stereoskopischen Erscheinungen einerseits aufgehoben, andererseits wesentlich verstärkt werden. Auch eine geringe Verschiebung der Linse im Auge selbst kann merklichen Einfluss auf die fraglichen Phänomene haben. Mit Hilfe dieser Thatsache lässt sich das Herabfallen der Linse bei völliger Entspannung der Zonula untersuchen, welches z. B. eintritt, wenn man nach einseitiger Eserineinträufelung den Kopf abwechselnd auf die rechte und die linke Schulter neigt.

Der Einfluss der Linsenverschiebung auf diese stereoskopischen Erscheinungen wird durch nebenstehende Figur veranschaulicht.

Es seien zunächst die Augen R und L beide z. B. durch geeignete Blenden genau centriert, d. h. der Strahlengang in beiden Augen so, wie in dem Auge R der Abbildung. Ist dieses Auge für blaue Strahlen genau eingestellt, so bilden die roten auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis, der bei genauer Centrierung koncentrisch um den Vereinigungspunkt der blauen Strahlen

Fig. 48.



gelegen ist. Sind beide Augen centriert, so ist keine stereoskopische Verschiebung der roten Streifen gegen die blauen zu sehen. Wenn nun in das linke Auge Eserin geträufelt wird, so dass bei links geneigtem Kopfe die Linse dieses Auges L herabsinkt, so werden jetzt, unter sonst gleichbleibenden Verhaltnissen, die roten Strahlen, wie die Figur zeigt, auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis bilden, der excentrisch nach innen um den Vereinigungspunkt der blauen Strahlen liegt. Die Zerstreuungskreise der roten Strahlen fallen also in beiden Augen auf disparate Netzhautstellen, wodurch eine stereoskopische Verschiebung der roten Streifen gegen die blauen hervorgerufen wird. Die entgegengesetzte Verschiebung tritt bei rechts geneigtem Kopfe ein.

Litteratur.

Monochromatische Aberration.

1694. De la Hire, Accidens de la vue. Mém. de l'Acad. de Paris.
1738. Jurin, Essay on distinct and indistinct vision. Smith's Optics.
1739. Helsham, A course of lectures in natural philosophy. London.
1809. Hassenfratz, Sur la forme apparente des étoiles et des lumières, vues à une très-grande distance et sous un très-petit diamètre. Ann. de Chimie. LXXII.
1818. Fischer, Über gewisse Gesichtserscheinungen. Berliner Denkschriften f. 1818 u. 1819. S. 46.
1819. Purkinje, Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subj. Hinsicht. Prag. S. 113—119.
1835. Schwerd, Die Beugungserscheinung aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie entwickelt u. s. w. Mannheim.
1850. Meyer, Über die sphärische Abweichung des menschlichen Auges. Prager Vierteljahresschr.
1851. Fick, De errore optico quodam asymmetria bulbi oculi effecta. Marburger Auszüge in Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. Neue Folge. II. S. 83.
1852. Fliedner, Beobachtungen über Zerstreuungsbilder im Auge, sowie über die Theorie des Sehens. Pogg. Ann. LXXXV. S. 321 u. 460; LXXXVI. S. 336; Moigno Cosmos. I. S. 333.
Stellwag von Carion, Über doppelte Brechung und davon abhängige Polarisation des Lichtes im menschlichen Auge. Wiener Sitzungsber. VIII. S. 82; Denkschr. d. K. K. Akad. in Wien. V, 2. S. 172; Zeitschr. d. Ärzte zu Wien. 1853. Heft 10 u. 11; Fechner's Centralbl. 1854. S. 281—292.
1853. Meyer, H., Über die sphärische Abweichung des menschlichen Auges. Pogg. Ann. LXXXIX. S. 429 u. 540—568.
1856. Meyer, H., Über die Strahlen, die ein leuchtender Punkt im Auge erzeugt. Pogg. Ann. XCVI. S. 235—262, 603—607 u. 607—609.
1858. Cavallieri, Sulla cagione del vedere le stelle e i punti luminosi affetti da raggi. Cimento. VII. S. 321—360.
1860. Zöllner, Beiträge zur Kenntnis der chromatischen und monochromatischen Abweichung des menschlichen Auges. Pogg. Ann. CXI. S. 329—336; Ann. de Chim. (3.) LX. S. 506—509.
1869. Holowinski, A., Études expérimentales sur les aberrations de l'oeil. Thèse Dorpat.
1876. Matthiessen, L., Über den Aplanatismus der Hornhaut. Graefe's Arch. XXII.
1885. Zehender, Über den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. Über aplanatische Brillengläser. Bericht über d. 17. Vers. d. Ophth. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.
1888. Jackson, Symmetrical aberration of the eye. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 141.
Tscherning, Le centrage de l'oeil humain. Compt. Rend. CVI. S. 1689.
Tscherning, Étude sur la position du cristallin de l'oeil humain. Compt. Rend. de l'Acad. des Sc. 16. avril.
1890. Tscherning, De l'influence de l'aberration de sphéricité sur la réfraction de l'oeil. Réponse à l'article du Dr. Chibret: Astigmatisme selon et contre la règle. Arch. d'Opht. X, 5. S. 445.
1891. Fridenberg, Über die Sternfigur der Krystalllinse. Inaug.-Diss. Straßburg u. Arch. of Ophth. XXIV, 2 (1894).
1893. Leroy, Méthode pour mesurer objectivement l'aberration sphérique de l'oeil vivant. Rev. Gén. d'Opht. XII. S. 112—115.

1893. Leroy, Sur l'aberration sphérique de l'oeil humain; mesure du sénilisme cristallinien. Compt. Rend. CXVI. S. 636—639.

Tscherning, M., L'aberroscope. Arch. d'Opht. XIII. S. 615—623.

1894. Tscherning, M., Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol d. Sinnesorgane. VI. S. 456—471.

1863. Volkmann, Untersuchungen im Gebiete der Optik.

1865. Aubert, Physiologie der Netzhaut. S. 213.

1877. Ricio, Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. Ann. di Ottalm. VI, 3.

1897. Asher, Über das Grenzgebiet des Licht- und Raumsinnes. Zeitschr. f. Biol. XXXV. Neue Folge. XVII.

1899. Hering, Über die Grenzen der Sehschärfe. Ber. d. math.-phys. Kl. d. sächs. Ges. d. Wissensch. 4. Dez.

1900. Best, Über die Grenzen der Sehschärfe. Sitzungsber. Heidelberg. S. 129.

Chromatische Aberration.

1704. Newton, Optics.

1753. Euler, Examen d'une controverse sur la loi de réfraction des rayons de différentes couleurs par rapport à la diversité des milieux transparents par lesquels ils sont transmis. Mém. de Berlin. S. 249.

1826. Müller, J., Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig. S. 195 u. 414.

1830. Tourtual, Über Chromasie des Auges. Meckel's Arch. S. 129.

1853. Vallé, Sur l'achromatisme de l'oeil. Compt. Rend. XXXVI. S. 142.

1855. Czermak, Zur Chromasie des Auges. Wiener Akad. Ber. XVII. S. 563.

1856. Fick, A., Einige Versuche über die chromatische Abweichung des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth. II, 2. S. 70.

1860. Zöllner, Beiträge zur Kenntnis der chromatischen und monochromatischen Abweichungen des Auges. Pogg. Ann. CXI. S. 329.

1862. Le-Roux, Expériences déstinées à mettre en évidence le défaut d'achromatisme de l'oeil. Ann. de Chim. LXVI. S. 173.

1868. v. Bezold, Über Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut. Arch. f. Ophth. XIV, 2. S. 1.

1877. Thompson, On the chromatic aberration of the eye in relation to the perception of distance. Philos. Magaz.

1880. Prompt, Note sur le défaut de l'achromatisme de l'oeil. Arch. de Physiol. Janvier.

1885. Einthoven, Stereoskopie durch Farbendifferenz. Arch. f. Ophth. XXXI, 3. S. 211.

1887. Tumlirz, Über ein einfaches Verfahren, die Farbenzerstreuung im Auge direkt zu sehen. Pflüger's Arch. XL. S. 394.

Wolff, M., Ein Versuch zur Berechnung der chromatischen Längenabweichung des menschlichen Auges. Bericht d. 19. ophth. Vers. in Heidelberg S. 39. (1888. Wiedemann's Ann. XXXII. S. 548.

1891. Gullstrand, Beitrag zur Theorie des Astigmatismus. Skand. Arch. f. Phys. II. S. 269.

1895. Kunst, J. J., Beiträge zur Kenntnis der Farbenzerstreuung u. s. w. Inaug.-Diss. Freiburg.

1896. Hess, Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodationslehre. Arch. f. Ophth. XLIII, 3.

1897. Einthoven, Sur les points cardinaux de l'oeil pour les lumières de couleur différente. Arch. Néerland. XXIX. S. 346.

Entoptische Erscheinungen.

1690. Dechales, M., Cursus seu mundus mathematicus. Lugduni. III. S. 402.
1694. de la Hire, Mém. de l'Acad. des sc. de Paris.
1795. Beireis, et Ch. Vogler, De maculis ante oculos volitantibus. Helmstadt.
1801. Thomas Young, Philos. Transact.
1825. Purkinje, Neue Beiträge.
1842. Steifensand, Pogg. Ann. LV.
1842. Sotteau, Recherches sur les apparences visuelles sans objet extérieur, connues sous le nom vulgaire de mouches volantes. Ann. et Bull. de la Soc. de Méd. de Gand. 11. Sept.
1845. Listing, Beitrag zur physiologischen Optik. Göttinger Studien.
1846. Donders, F. C., Over entoptische gezichtsverschijnselen en derzelver toepassing voor de herkenning van ooggebreken. Nederl. Lancet. 2. Ser. II. S. 345, 432 u. 537.
Donders, Nederl. Lancet.
1850. Donders, Het entoptisch onderzoek tot herkenning van oogziekten. Nederl. Lancet. S. 521.
1854. Doncan, A., De corporis vitrei structura. Diss. Trajecti ad Rhenum. Onderz. ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Jaar. VI. S. 171.
1856. Laiblin, A. E., Die Wahrnehmung der Chorioidealgefäße des eigenen Auges. Diss. Tübingen.
1857. Weller, E. C. A., Nonnulla de muscis volitantibus.
1864. Knapp, Über die Diagnose des irregulären Astigmatismus.
1877. Cadiat, Polyopie monoculaire. Soc. de Biol. u. Gaz. des Hôp.
1878. Badal, Nouveau procédé pour déterminer la situation des objets, qui flottent dans le corps vitré. Gaz. des Hôp. S. 237.
1888. Exner, Über den normalen irregulären Astigmatismus. Arch. f. Ophth. 341. S. 1.
1895. Darier, De la possibilité de voir son propre cristallin. Soc. Franç. d'Ophth.

Farbige Ringe.

1850. Donders, Nederl. Lancet. 2. Ser. VI. S. 611.
1851. Beer, Pogg. Ann. (und 1853).
1861. Haffmanns Beitrag zur Kenntnis des Glaucoms. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 124.
1880. Laqueur, Das Prodromalstadium des Glaucoms. Arch. f. Ophth. XXVI, 2. S. 1.
1882. Schiötz, Om nogle optiske egenskaber ved cornea.
1898. Demichéri, Revista medica del Uruguay. Mai. S. 38.
Salomonsohn, Über Lichtbeugung an der Hornhaut und Linse (Regenbogenfarbensehen). Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt.
Druault, Arch d'Opht.
1899. Druault, Sur les anneaux colorés que l'on peut voir autour des flammes à l'état normal ou pathologique. 9. Internat. Kongr. Utrecht.

Abschnitt V.

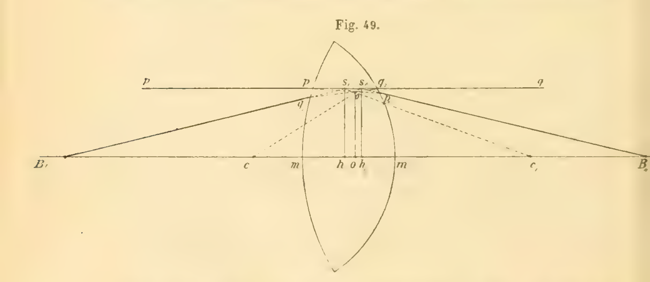
Linsen und Brillen.

§ 57. Linsen sind centrierte optische Systeme mit 2 im allgemeinen sphärischen Begrenzungsflächen, bei welchen das erste und letzte Medium gleichen Index haben. Sie stellen somit nur einen besonderen Fall dar, auf den die früher abgeleiteten Gesetze ohne weiteres anwendbar sind.

Für Linsen in Luft, die in dem hier folgenden Abschnitte ausschließlich Gegenstand der Betrachtung sind, ist $n_, = n_{,,} = 1$. Aus der Gleichung $\frac{F_,}{F_{,,}} = -\frac{n_,}{n_{,,}}$ ergiebt sich, dass $F_, = -F_{,,}$ wird, d. h. die beiden Brennweiten einer Linse sind einander gleich und von entgegengesetztem Vorzeichen. Die Brennpunkte liegen auf entgegengesetzten Seiten der Linse, gleichweit von den zugehörigen Hauptpunkten entfernt. Für die Lage der Hauptpunkte ergeben die früheren Gleichungen $\frac{h_,}{h_{,,}} = \frac{r_,}{r_{,,}}$, d. h. der Abstand des ersten Hauptpunktes von der Linsenvorderfläche verhält sich zu dem Abstande des zweiten Hauptpunktes von der Linsenhinterfläche wie der Radius der vorderen zu dem der hinteren Fläche. Unter Berücksichtigung des früher über die Lage der Knotenpunkte Gesagten ergiebt sich, dass die Knotenpunkte der Linsen mit ihren Hauptpunkten zusammenfallen.

Durch Konstruktion kann man die Hauptpunkte einer Linse unter Benutzung der früher angegebenen Konstruktionen in folgender Weise finden.

Fig. 49.



Es sei $pp_,$ ein zur Achse parallel eintretender, $q_{,,}q$ ein zur Achse parallel austretender Strahl. Der erstere muss nach der Brechung durch $B_{,,}$ gehen, der letztere vor der Brechung aus $B_,$ kommen. Der Weg beider Strahlen in der Linse ist also durch $p_,p_{,,}$ bezw. $q_,q_{,,}$ gegeben. o ist ihr

Schnittpunkt. (Die Lage der Punkte $q_,$ und $p_{,,}$ ist z. B. aus dem Radius der brechenden Flächen und dem Index des Mediums nach einer der früher angegebenen Methoden zu ermitteln.) Die Schnittpunkte $s_,$ und $s_{,,}$ der verlängerten ein- bezw. austretenden Strahlen $B_,q_,$ bezw. $B_{,,}p_{,,}$ mit der Geraden pq gehören den beiden Hauptebenen an; die Fußpunkte $h_,$ und $h_{,,}$ ihrer Lote auf die Achse sind die beiden Hauptpunkte. $o_,$ ist ein zwischen beiden Hauptebenen gelegener Punkt, dessen Bilder die beiden Hauptpunkte sind: $h_,$ ist sein durch die erste, $h_{,,}$ sein durch die zweite Fläche entworfenes Bild. Da der Punkt o zu $s_,$ konjugiert ist in Bezug auf die erste brechende Fläche, zu $s_{,,}$ in Bezug auf die zweite und da bei einer einzigen brechenden Fläche einander konjugierte Punkte auf einer durch den Krümmungsmittelpunkt gehenden Geraden liegen, so kann man $s_,$ und $s_{,,}$ auch finden, wenn man aus den beiden Krümmungsmittelpunkten $c_,$ und $c_{,,}$ Gerade durch o zieht und bis zum Schnittpunkte mit der Geraden $p_,q_{,,}$ verlängert. Sind $s_,$ und $s_{,,}$ gefunden, so lassen sich die Brennpunkte finden durch Verlängerung der Strahlen $s_,q_,$ und $s_{,,}p_{,,}$ bis zu ihrem Schnittpunkte mit der Achse. $h_,$ und $h_{,,}$ sind zugleich die Knotenpunkte des Linse. Ein in der Linse durch $o_,$ gehender Strahl wird vor der Brechung nach $h_,$ gerichtet sein, nach der Brechung von $h_{,,}$ zu kommen scheinen. Da diese Strahlen gleiche Winkel mit der Achse bilden, so stellt $o_,$ den Schnittpunkt für alle diejenigen in der Linse verlaufenden Strahlen dar, für welche der austretende Strahl dem eintretenden parallel ist, die also die Linse durchsetzen, ohne abgelenkt zu werden. Dieser Punkt heißt der optische Mittelpunkt der Linse; die Lage von $o_,$ ist, wie durch eine einfache geometrische Konstruktion gezeigt werden kann, dadurch bestimmt, dass seine Abstände vom Scheitel der ersten, bezw. der zweiten Fläche sich verhalten wie die zugehörigen Radien. Der optische Mittelpunkt liegt also bei unsymmetrischen Linsen näher an der stärker gewölbten Fläche, bei symmetrischen Linsen in deren Mitte. In der menschlichen Linse liegt er 2,25 mm hinter dem vorderen, also 1,35 mm vor dem hinteren Scheitel. (Das Verhältnis beider Abstände ist = 10 : 6, ihre Summe = 3,6 mm.)

Für den Brechwert eines beliebigen, optischen Systems benutzten wir früher (vgl. § 6) den Ausdruck $D = \frac{n_,}{F_,}$. Für Linsen in Luft ist somit $D = \frac{1}{F}$, d. h. die Brechkraft einer Linse in Luft, in Dioptrien ausgedrückt, ist gleich dem reciproken Werte der in Metern gemessenen Brennweite. (Dabei sind wieder, wie dort, beide Brennweiten positiv, bezw. negativ genommen, je nachdem die Linsen das Licht sammeln oder zerstreuen.)

Man bezeichnet heute ziemlich allgemein die Linsen nach ihrer Brechkraft, nachdem solches zuerst von Giraud-Teulon und v. Zehender

empfohlen worden war und NAGEL als Grundlage für die Bezeichnung das metrische System vorgeschlagen hatte. Als Einheit dient eine Linse von 1 m Brennweite, die »Meterlinse« (NAGEL) oder »Dioptrie« (MONOYER). (ALFRED GRAEFE's Vorschlag, als Einheit 1 cm zu nehmen, (der übrigens schon 1841 von CHEVALIER gemacht worden war) hat keinen Anklang gefunden.) Eine Linse von n Dioptrien Brechkraft hat also eine Brennweite von $\frac{100}{n}$ cm, eine Linse von 5 cm Brennweite eine Brechkraft von $\frac{1}{0{,}05} = 20$ Dioptrien. Wir haben oben gesehen, wie dieser ursprünglich von NAGEL nur für Linsen in Luft eingeführte Dioptrienbegriff durch GULLSTRAND eine wesentliche Erweiterung erfahren und dadurch ein größeres Anwendungsgebiet auch auf solche Systeme erhalten hat, deren letztes Medium einen vom ersten verschiedenen Brechungsindex besitzt.

Man pflegte früher auf den Linsen den in Zollen gemessenen Radius der betreffenden Schleifschale einzuritzen und benutzte ziemlich allgemein diese Zahl auch als Maß für die Brennweite des Glases. Es wurde also $F = r$ genommen. Diese Voraussetzung gilt genau aber nur für unendlich dünne, symmetrische Linsen von dem Brechungsindex 1,5 (denn hier ist $F = \frac{r}{2\,(n-1)} = r$). Die Abweichungen von dieser Voraussetzung sind für stärkere Linsen von höherem Index und nicht zu vernachlässigender Dicke nicht unbeträchtlich. Für das zu unseren Brillengläsern meist benutzte deutsche Crownglas ist $n = 1{,}528$, daher $F = \frac{r}{1{,}056}$.

Diese frühere Bezeichnungsweise ist heute größtenteils verlassen, trotzdem HASNER, MAUTHNER, HIRSCHBERG und v. GRAEFE eine Reihe von Bedenken praktischer Natur gegen die Dioptrienbezeichnung erhoben. Jene ältere Art der Bezeichnung hatte unter anderem den Nachteil, dass die Größe des Zolles in verschiedenen Ländern nicht unbeträchtlich verschieden ist, wodurch z. B. zwischen den Bezeichnungen nach französischem und englischem Zoll Differenzen im Betrage von mehr als 6,5 % vorkommen können. Außerdem war die Einheit des Zolles insofern unbequem, als sie meist eine zum Teil umständliche Rechnung mit Brüchen notwendig machte, während diese sich im allgemeinen nach der Dioptrienrechnung einfacher gestaltet. (Allerdings gilt dies nicht ausnahmslos. Für einige Fälle hat die frühere Bezeichnungsweise sogar den Vorzug etwas größerer Einfachheit.)

Zur Umrechnung der alten Brillenbezeichnung in die neue genügt es für die meisten praktischen Zwecke, wenn wir den Zoll = 25 mm, also 40″ = 1 m setzen. Daraus folgt, dass das Produkt aus alter und neuer Nummer = 40 ist. Die Nummer der alten Bezeichnung der Gläser in Zollen erhält man also aus der Dioptriennummer und umgekehrt durch Division

in 40. Ein Glas von 4 Dioptrien Brechkaft entspricht unter obigen Voraussetzungen (angenähert) einem solchen von 10 Zoll Brennweite, ein Glas von n Zoll (angenähert) einem solchen von $\frac{40}{n}$ Dioptrien.

§ 58. Bezeichnen wir mit D die Brechkraft einer Linse in Dioptrien, mit $D_{,}$ bezw. $D_{,,}$ die ihrer ersten bezw. zweiten Fläche, mit $H_{,}$ und $H_{,,}$ die reduzierten Hauptpunktsabstände und mit δ die reduzierte Dicke der Linse $\left(=\frac{d}{n}\right)$, so ergeben sich aus den Formeln 19 und 20 die Werte für Brechkraft und Hauptpunktslage der Linse. Setzt man (für Linsen in Luft) statt $D_{,}$ $D_{,,}$ und δ die entsprechenden Werte $\frac{n-1}{r_1}$ bezw. $-\frac{n-1}{r_2}$ und $\frac{d}{n}$, so erhält man D ausgedrückt durch r, n und d:

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)+\frac{d}{n\,r_1\,r_2}\cdot(n-1)^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (26)$$

Setzt man statt der Radien deren reciproke Werte, d. s. die Krümmungen der Flächen und bezeichnet diese mit ϱ_1 und ϱ_2, (so dass also $\varrho_1=\frac{1}{r_1}$ und $\varrho_2=\frac{1}{r_2}$), so erhält man den öfter gebrauchten Ausdruck:

$$D = (n-1)(\varrho_1-\varrho_2)+\frac{(n-1)^2}{n}\,d\,\varrho_1\,\varrho_2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (26a)$$

Ferner ist $H_{,}=\frac{\delta D_{,,}}{D}=h_{,}$; $H_{,,}=-\frac{\delta D_{,}}{D}=h_{,,}$

§ 59. Die Formel 6 für die Hauptpunktsabstände konjugierter Punkte geht für Linsen über in die Formel

$$\frac{1}{f_{,,}}-\frac{1}{f_{,}}=\frac{1}{F} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (27)$$

(worin wieder F positiv für sammelnde, negativ für zerstreuende Linsen ist.)

(Diese Gleichung wird oft in der Form $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F}$ geschrieben, worin a den Objektabstand, b den Bildabstand von den zugehörigen Hauptpunkten bedeutet, aber die Abstände von Objekt bezw. Bild positiv gerechnet werden, wenn für das einfallende Licht das Objekt vor der Linse, das Bild hinter der Linse liegt, also bei von links kommendem Lichte das Objekt links von der Linse gelegen ist.)

Die (Newton'sche) Formel für die Brennpunktsabstände des Objektbezw. Bildpunktes lautet, wenn wir diese in der Lichtrichtung positiv rechnen, (und beiden Brennweiten das gleiche Vorzeichen geben)

$$l_{,}l_{,,}=-F^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (28)$$

Für die Beziehungen zwischen Objekt- und Bildgröße ergiebt sich dann

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{F+f_,}{F} = \frac{F}{F-f_{,,}} = \frac{l_,}{F} = -\frac{F}{l_{,,}} = \frac{f_,}{f_{,,}} \quad \ldots \ldots (29.$$

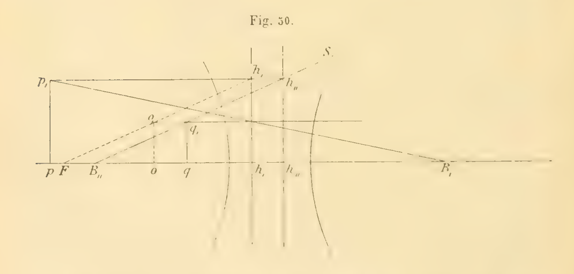
Die häufig gebrauchte) Beziehung zwischen Bildgrößen und Hauptpunktsabständen : $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{f_,}{f_{,,}}$ besagt, dass für Linsen Bildgröße zu Gegenstandsgröße sich verhält, wie Bildweite zu Gegenstandsweite.

(Mit der Linsenformel (27) ist die allgemeine Dioptrienformel $B = A + D$ identisch, da ja $A = \frac{n_,}{f_,}$, $B = \frac{n_{,,}}{f_{,,}}$ und $D = \frac{n_,}{F}$, für Linsen in Luft aber $n_, = n_{,,} = 1$ ist. Das gleiche gilt betreffs der Dioptrienformel $A\alpha = B\beta$ für die Beziehungen zwischen Bild- und Objektgröße.

§ 60. Um durch Konstruktion die von Linsen entworfenen Bilder zu finden, greifen wir auf die Konstruktionen für eine einzige brechende Fläche zurück.

Für das durch eine unendlich dünne Linse (s. u. entworfene Bild kann die gleiche Konstruktion dienen wie bei einer einzigen brechenden Fläche, für welche die beiden Hauptebenen in ihrem Scheitel zusammenfallen. Objekt und Bild sind hier perspektivisch in Bezug auf den Scheitelpunkt der Linse.

Fig. 50.



Es befinde sich die unendlich dünne Linse in der Ebene $h_,h_,$ (Fig. 50). Vom Endpunkte $p_,$ des Objektes $pp_,$ zieht man den achsenparallelen Strahl $p_,h_,$ bis zur ersten Hauptebene $h_,$; die Richtung des gebrochenen Strahles ist durch die Gerade $h_,F$ gegeben. Man zieht ferner von $p_,$ einen Strahl in der Richtung nach $B_,$; dieser ist nach der Brechung in $h_,h_,$ zur Achse parallel. Der Schnittpunkt des rückwärts verlängerten Strahles mit

dem rückwärts verlängerten Strahle $h_, F$ ist das Bild von $p_,$, also $oo_,$ das virtuelle, aufrechte, verkleinerte Bild von $pp_,$.

Für die von dicken Linsen entworfenen Bilder kann man von der gleichen Konstruktion ausgehen, indem man zunächst das Bild für eine in der ersten Hauptebene derselben gedachte unendlich dünne Linse von gleicher Brennweite, wie die dicke Linse, in der eben angegebenen Weise konstruiert und dieses dann um eine nach Größe und Vorzeichen der Hauptpunktsdistanz der Linse entsprechende Strecke verschiebt. Man verfährt also in ganz analoger Weise, wie früher für den Fall angegeben wurde, dass das letzte Medium vom ersten verschieden sei (vgl. die nicht punktierten Linien der Fig. 50).

§ 61. Die verschiedenen Arten der praktisch vorwiegend in Betracht kommenden Linsen sind folgende:

1. Bikonvexe Linsen. Die beiden konvexen Flächen sind einander zugekehrt, also r_1 positiv, r_2 negativ: Brennweite und Brechkraft sind daher positiv, das System $D = D_, + D_{,,} - \delta D_, D_{,,}$ vermehrt die Convergenz einfallender Strahlen, ist also ein sammelndes, solange $\delta D_, D_{,,}$ kleiner als $D_, + D_{,,}$ ist. Die sammelnde Kraft des Systems wird aber um so kleiner, je größer die Dicke der Linse wird.

Fig. 51.

Die Brechkraft des Systems wird $= 0$, wenn $D_, + D_{,,} = \delta D_, D_{,,}$ ist, woraus sich für $n = 1{,}5$ und eine symmetrische Linse $r_1 = r_2$ berechnet $\delta = 4r$, daher $d = 6r$ denn da $D_, = D_{,,}$, so wird $\delta = \frac{2}{D_,}$; $d = \frac{2n}{D_,} = \frac{2nr}{n-1} = \frac{3r}{0{,}5}$), d. h. ein symmetrisches, bikonvexes System hat die Brechkraft 0 (= teleskopisches System), wenn die Dicke der Linse gleich dem 6fachen Radius ist. Wird die Linse noch dicker, so wird das System ein zerstreuendes (dispansives), trotz der konvexen Begrenzungsflächen. Praktisch ist fast immer $d < 6r$, also die bikonvexe Linse eine Sammellinse.

Aus den Vorzeichen der Werte für $H_,$ und $H_{,,}$ ergiebt sich, dass beide Hauptpunkte innerhalb der Linse liegen.

Für die symmetrische Konvexlinse ist $D_, = D_{,,}$ also $D = 2D_, - \delta D_,^2$ daher $H_, = -H_{,,} = \frac{\delta}{2 - \delta D_,}$.

Für die hier in Betracht kommenden Werte von r nähert sich in dem Maße, als δ kleiner wird, da dann $\delta D_,$ vernachlässigt werden kann, der Wert für $H_, = -H_{,,}$ dem Werte $\frac{\delta}{2}$; bei einem Brechungsindex $= 1{,}5$ erhält man

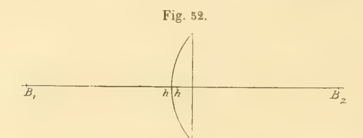
dann $H_, = -H_{,,} = \frac{d}{2n} = \frac{d}{3}$, d. h. bei dünnen, symmetrischen Crownglas-Linsen wird deren Dicke durch die Hauptpunkte in 3 gleiche Teile geteilt.

2. Für die sogenannte Kugellinse (ein in Kugelform geschliffenes Glas) ist die Dicke gleich dem doppelten Radius. Für einen Brechungsindex $= 1,5$ ist $\delta = \frac{d}{1,5} = \frac{2r}{1,5}$ und $D_, = \frac{0,5}{r}$ daher $D = \frac{2}{3r}$; $H_, = -H_{,,} = r$.

3. Bei der plankonvexen Linse ist der eine der beiden Radien unendlich groß, also $D_,$ oder $D_{,,} = 0$. Für den zweiten Fall (Fig. 52) ist $D = D_,$

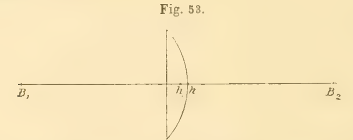
$$H_, = 0;\; H_{,,} = -\delta;\; \text{für } n = 1,5 \text{ ist } H_{,,} = -\frac{d}{1,5},\; F = 2r_1.$$

Fig. 52.



Für den ersten Fall (Fig. 53) ist $D = D_{,,}$, $H_, = \delta$; $H_{,,} = 0$; für $n = 1,5$ ist $H_, = \frac{d}{1,5}$; $F = -2r_2$.

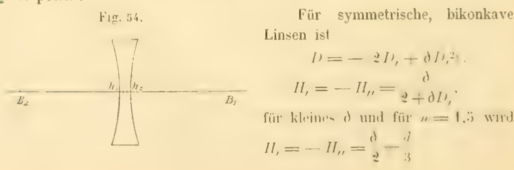
Fig. 53.



Bei plankonvexen Linsen fällt also der eine Hauptpunkt in die konvexe Fläche, der andere teilt die Dicke der Linse derart, dass der Abstand von der konvexen Fläche halb so groß ist, wie jener von der planen.

4. Bei den bikonkaven Linsen sind beide Flächen konkav, r_1 ist negativ, r_2 ist positiv.

Fig. 54.



Für symmetrische, bikonkave Linsen ist

$$D = -2D_, + \delta D_,^2.$$

$$H_, = -H_{,,} = \frac{\delta}{2 + \delta D_,},$$

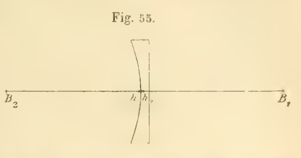
für kleines δ und für $n = 1,5$ wird

$$H_, = -H_{,,} = \frac{\delta}{2} = \frac{d}{3}$$

Auch hier liegen beide Hauptpunkte in der Linse und teilen deren Dicke in 3 gleiche Teile. $h_{,,}$ liegt näher zu $B_,$ als $h_,$.

5. Für Plankonkavlinsen ergiebt sich in analoger Weise: $D = -D_,$ oder $= -D_{,,}$ (je nachdem die hintere oder vordere Fläche der Linse die plane ist); im zweiten Falle ist $H_, = \delta$; $H_{,,} = 0$; im ersten ist $H_, = 0$; $H_{,,} = -\delta = -\frac{d}{n} = -\frac{2}{3}d$ (für $n = 1{,}5$) (Fig. 55). Die Lage der Hauptpunkte ist eine ähnliche, wie bei den plankonvexen Linsen; auch hier fällt je ein Hauptpunkt in den Scheitel der gekrümmten Fläche.

Fig. 55.

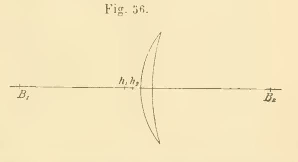


Für F ergiebt sich im einen Falle $F = -2r_2$, im anderen Falle $F = 2r_1$.

6. Konkav-konvexe Linsen oder Menisken (Kepler). Die Radien beider Flächen haben das gleiche Vorzeichen.

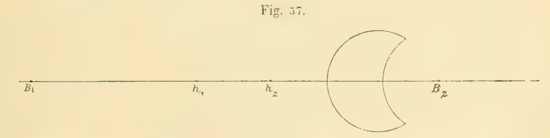
a) Ein solches System wird kollektiv stets wirken, wenn $D_, > D_{,,}$ ist, d. h. wenn der Radius der konkaven Fläche einen absolut größeren Wert hat, als der der konvexen.

Fig. 56.



Für $H_,$ und $H_{,,}$ ergeben sich negative Werte und im allgemeinen liegt nicht nur der erste, sondern auch der zweite Hauptpunkt außerhalb der Linse, nach

Fig. 57.



deren konvexer Seite hin. Wird der eine Radius sehr groß, so tritt der Fall ein, dass der eine Hauptpunkt außerhalb, der andere innerhalb der Linse liegt: die Lage der beiden Hauptpunkte nähert sich allmählich jener in der plankonvexen Linse.

b) Wenn die beiden Radien gleiche Größe haben, so ist $D_{,,} = -D_,$ also $D = \delta D_,^2 = \frac{d}{6r^2}$ (für $n = 1{,}5$): ein solches System hat also

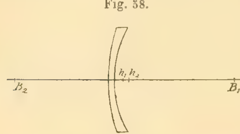
gleichfalls eine, wenn auch sehr geringe, sammelnde Wirkung; bei einer Glasdicke von 3 mm und einem Radius von 5 cm ist die Brechkraft $= 0{,}2$ Dioptrien; $H_{,} = -\frac{1}{D}$; $H_{,,} = -\frac{1}{D}$; beide Hauptpunkte liegen auf der konvexen Seite der Linse, um die Dicke der Linse voneinander entfernt.

c) Wenn der Radius der konkaven Fläche einen absolut kleineren Wert hat, als der der konvexen, so sind 3 Fälle möglich:

1. $D_{,,} - D_{,} > \delta D_{,} D_{,,}$: das System wirkt zerstreuend,
2. $D_{,,} - D_{,} = \delta D_{,} D_{,,}$: » » » teleskopisch,
3. $D_{,,} - D_{,} < \delta D_{,} D_{,,}$: » » » sammelnd.

aus 2 berechnet sich $d = \frac{n(r_1 - r_2)}{n - 1}$; für $n = 1{,}5$ ist $d = 3(r_1 - r_2)$, d. h. das System wirkt teleskopisch, wenn die Dicke des Glases gleich ist der 3fachen Differenz der Radien beider Flächen; es wirkt sammelnd bezw. zerstreuend, wenn die Glasdicke größer bezw. kleiner ist, als dieser Wert; letzteres kommt praktisch fast allein in Betracht. Der Meniskus ist am Rande dicker als in der Mitte und wirkt zerstreuend.

Fig. 58.



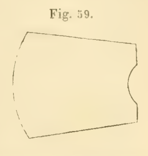
Für die Lage der Hauptpunkte ergiebt sich ähnlich wie oben: beide Hauptpunkte liegen außerhalb der Linse, auf deren konkaver Seite, wenn das System (wie in der Regel der Fall) zerstreuend ist; auf der konvexen, wenn es sammelnd wirkt. Ist der eine Radius sehr groß, so kann wieder der Fall eintreten, dass ein Hauptpunkt innerhalb, der andere außerhalb der Linse liegt, wie z. B. bei der sog. »crossed lens« (s. unten), für welche $r_2 = 6 r_1$ ist.

Unsere sog. »Schutzbrillen« sind in der Regel Linsen mit koncentrischen kugeligen Begrenzungsflächen; ihre Dicke ist also $d = r_1 - r_2$.

Setzt man den entsprechenden Wert in die Gleichung für Menisken ein, so erhält man $D = -\frac{r_1 - r_2}{3 r_1 r_2} = -\frac{d}{3 r_1 r_2}$, d. i. angenähert $= -\frac{d}{3 r^2}$; solche Systeme haben also eine (sehr geringe) zerstreuende Kraft, die z. B. für ein Glas von 2 mm Dicke, 40 mm Radius und einen Index $= 1{,}5$ ca. $0{,}4$ Dioptrien beträgt. Da unsere gewöhnlichen Schutzgläser meist einen viel größeren Radius haben und ihre Dicke selten 2 mm beträgt, so kann ihre zerstreuende Kraft im allgemeinen vernachlässigt werden, sofern sie nicht unregelmäßig gearbeitet sind, was aber oft der Fall ist; es kommt vor, dass eine in den mittleren, also für das Sehen wichtigsten Brillenteilen gelegene Stelle infolgedessen merklich zerstreuende Kraft hat).

Der STEINHEIL'sche Conus (Fig. 59) ist ein teleskopisches System, (in dem der zweite Brennpunkt der ersten Fläche zugleich der erste Brennpunkt der zweiten Fläche ist), $D = 0$. Das System wirkt analog dem GALILEI'schen Fernrohre und dem Operngucker. Es wurde wegen seiner (allerdings nur schwachen) Vergrößerung früher für Kurzsichtige empfohlen. Eine zutreffende Beschreibung seiner Wirkung nebst Abbildung des Glases findet man schon bei DESCARTES.)

Fig. 59.



Bei allen Menisken, bei welchen die Hauptpunkte außerhalb der Linse liegen, liegt auch der optische Mittelpunkt außerhalb der Linse. Die Bedeutung der Menisken für die Verwendung zu Brillengläsern liegt darin, dass sie (unter bestimmten Voraussetzungen) günstigere Bedingungen für das Sehen bieten, als die gewöhnlichen, insbesondere die bikonkaven Gläser, indem die astigmatische Bildverzerrung für schräg zur Achse durchtretende Strahlen kleiner ist, als bei den gewöhnlichen Gläsern; sie wurden daher von WOLLASTON (1803) als »periskopische« Gläser bezeichnet. Sie sind zuerst 1716 von HERTEL angegeben, seit der Entdeckung der achromatischen Gläser durch EULER (1747 in größerem Umfange angefertigt worden.

§ 62. Unendlich dünne Linsen. Bei vielen Untersuchungen ist es statthaft, die Dicke der Linsen zu vernachlässigen; wir sprechen dann von unendlich dünnen Linsen. Die obigen Formeln erfahren für diesen Fall eine große Vereinfachung.

Da $\delta = 0$, so lautet die allgemeine Linsenformel

$$D = D_{,} + D_{,,} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

$H_{,} = H_{,,} = 0$, die beiden Hauptpunkte fallen zusammen und liegen in dem Punkte, in welchem die Scheitel der beiden Flächen zusammenfallend gedacht werden.

Drückt man $D_{,}$ und $D_{,,}$ durch die entsprechenden Werte von r_1 und r_2 aus, so erhält man für Linsen in Luft

$$D = \frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = (n-1)(\varrho_1 - \varrho_2) \quad \ldots \quad (31)$$

Sind die Linsen symmetrisch, also $r_2 = -r_1 = r$, so ist

$$D = 2D_{,} = \frac{2(n-1)}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

Wenn der Index des Glases $= 1{,}5$ ist, so erhält man danach $F = r$, d. h. für symmetrische, unendlich dünne Linsen ist die Brennweite gleich dem Radius. Nur für solche trifft es, wie schon oben erwähnt, genau zu, dass der in Zollen gemessene Radius der Schleifschale, den man früher

auf dem Brillenglase einritzte, zugleich die Brennweite dieses Glases ausdrückt.

Eine unendlich dünne Linse ist vollständig bestimmt durch 3 Punkte: den gemeinsamen Scheitel und die beiden Brennpunkte. Wir unterscheiden wiederum unendlich dünne bikonvexe, plankonvexe, konkavkonvexe und entsprechende konkave Linsen.

Für eine unendlich dünne Linse, deren beide Radien gleich groß sind und gleiches Vorzeichen haben, ergiebt sich $D = 0$, d. h. die Strahlen werden durch eine solche Linse nicht abgelenkt. (Die Thränenschicht auf der Hornhaut stellt z. B. ein derartiges System dar.)

Oben wurde bereits angegeben, dass die Konstruktion der durch eine unendlich dünne Linse entworfenen Bilder so erfolgen kann, wie für den Fall einer einzigen brechenden Fläche. Hieraus, wie aus dem vorher über die Konstruktion der Bilder bei dicken Linsen Gesagten ergiebt sich, dass man ganz allgemein ein centriertes optisches System, dessen erstes und letztes Medium gleichen Brechungsindex haben, ersetzen kann durch eine unendlich dünne Linse. Wenn die von dieser, in der ersten Hauptebene befindlich gedachten Linse entworfenen Bilder parallel zur Achse um eine Strecke verschoben werden, die nach Größe und Vorzeichen der Distanz der Hauptpunkte des kombinierten Systems entspricht, so fallen sie, wie wir früher sahen, mit den von diesem Systeme entworfenen Bildern zusammen. Man nennt solche Linsen äquivalente.

Die gleichen Formeln, die zur Ermittelung der Brechkraft einer einzigen Linse dienen, benutzen wir auch zur Bestimmung der Brechkraft einer Kombination aus zwei oder mehreren Linsen. Legen wir zwei Linsen von der Brechkraft D_1 und D_2 so dicht aneinander, dass ihr gegenseitiger Abstand (genauer der Abstand des zweiten Hauptpunktes der ersten Linse von dem ersten der zweiten) vernachlässigt werden kann, so ist die Brechkraft der Kombination $D = D_1 + D_2$.

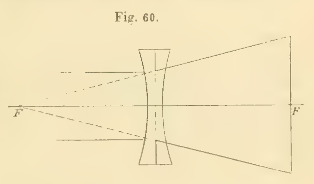
Wir können unter dieser Voraussetzung also eine Linse als ein Aggregat aus mehreren Linsen, ihre Brechkraft als die Summe der Brechkräfte der einzelnen Linsen auffassen.

§ 63. Von den vielen, zur experimentellen Bestimmung der Brennweiten von Linsen angegebenen Methoden mögen hier nur einige zu praktischen Zwecken geeignetere Platz finden, bei welchen es nicht auf sehr große Genauigkeit ankommt. Eine einfache Methode zur Ermittelung der Brennweite von Konvexgläsern besteht in der direkten Brennpunktsbestimmung: Man entwirft auf einem weißen Schirme durch die Linse das umgekehrte Bild von genügend weit entfernten Gegenständen und misst den Abstand, in welchem dieses am schärfsten erscheint. Die Brennweite schwacher Konkavlinsen kann man bestimmen, indem man sie mit stärkeren

Konvexlinsen von bekannter Stärke kombiniert, den Brennpunkt des kombinierten Systems wie vorher ermittelt und durch Subtraktion die Brennweite der Konkavlinse berechnet. Hat z. B. die Kombination der zu untersuchenden konkaven Linse mit einer konvexen von 5 D. eine Brennweite von 50 cm, so ist die Brechkraft der Konkavlinse = 3 Dioptrien.

Zur direkten Bestimmung der Brennweite konkaver Linsen kann die folgende Methode dienen: Man stellt eine Flamme in so großer Entfernung von der Linse auf, dass das virtuelle Flammenbild im Brennpunkte der Linse entworfen wird. Hinter der Linse verschiebt man einen weißen Schirm so weit, bis der von ihr entworfene lichte Fleck auf dem Schirme den doppelten Durchmesser der untersuchten Linse hat. (Man zeichnet hierzu zweckmäßig einen Kreis von entsprechender Größe auf dem Schirme auf und blendet die Randstrahlen der Linse durch ein geeignetes Diaphragma ab.) Der so gemessene Abstand giebt die Brennweite des Konkavglases an. Aus Fig. 60 ist ersichtlich, dass im Abstande F von der Linse der Durchmesser des Flecks = $2d$ ist (d = Durchmesser des wirksamen Teiles der Linse).

Fig. 60.



Genauere Ergebnisse erhielt Donders durch ophthalmometrische Bestimmung. Er brachte die Lichtquelle und die Achse der Linse in die Achse des Ophthalmometers, maß die Größe der Lichtquelle und bewegte die Linse so lange hin und her, bis das reelle Bild der Lichtquelle dieselbe Größe hatte wie diese selbst. Der Abstand der Linse von der Lichtquelle ist dann gleich der doppelten Brennweite der Linse. (Für schwache Linsen ist die Methode nicht direkt anwendbar.)

Zu allgemeinerer praktischer Anwendung und zur Feststellung der Stärke eines Glases in Dioptrien sowie zur Ermittelung des Linsencentrums sind vielfach »Phakometer« angegeben worden, so von Snellen, Badal u. a.

Handelt es sich darum, in der Praxis rasch die Stärke eines Brillenglases annähernd zu ermitteln, so kann man sich der folgenden Methode bedienen, die eine Bestimmung bis auf 0,25 D. für nicht zu starke Gläser leicht gestattet: die excentrisch gelegenen Teile einer Linse haben eine prismatische Wirkung, die um so größer wird, je weiter man sich von der Achse des Glases entfernt; die excentrischen Teile einer Konkavlinse wirken wie Prismen mit der Basis nach der Peripherie, die einer Konvexlinse wie Prismen mit der Basis nach der Achse hin. Diese prismatische Wirkung

hat zur Folge, dass bei Bewegung eines dicht vor das Auge gehaltenen Konvexglases senkrecht zur Blicklinie die gesehenen Gegenstände eine der Glasbewegung entgegengesetzte Scheinverschiebung zeigen, bei Bewegung eines Konkavglases dagegen eine Scheinverschiebung in gleicher Richtung. Man kann die Stärke eines konkaven (bezw. konvexen) Glases bestimmen, indem man es mit konvexen (bezw. konkaven) Gläsern von bekannter Stärke zusammenlegt und so jenes Glas ermittelt, bei welchem während der Bewegung keine Scheinverschiebung der durch die Kombination gesehenen Gegenstände mehr auftritt. Die Brennweite des untersuchten Glases ist dann gleich der bekannten des zur Kombination benutzten. Endlich sind in der Praxis die handlichen, mechanischen Vorrichtungen brauchbar, wobei das zu untersuchende Glas auf 3 oder 4 Stifte aufgedrückt wird, von welchen die seitlichen fest sind, während ein mittlerer, beweglicher mit einem Zeiger verbunden ist, der die Glasstärke direkt abzulesen gestattet. (Die Skala dieser Instrumente gilt genau nur für einen bestimmten Brechungsindex und eine bestimmte Dicke der Gläser; in der That ist, wie es scheint, die Dicke der Konkavlinsen eine ziemlich konstante, schwankt aber zuweilen bei Konvexlinsen einer und derselben Nummer.)

Die Bestimmung des Centrums eines Brillenglases kann u. a. durch Snellen's Phakometer oder durch O. Becker's »Centrometer« geschehen. Für viele Zwecke genügt es, dass man das Glas in einigem Abstande vom Auge vor ein Paar gekreuzter gerader Linien, z. B. ein Fensterkreuz hält und dem Glase solche Stellung giebt, dass der durch es gesehene Teil des Kreuzes die ungebrochene Fortsetzung des übrigen Teiles bildet. Dann liegt das Centrum des Glases in der Visierlinie und kann leicht markiert werden. (Ein ähnliches Instrument zu binocularer Centrierung hat Burnstead (1895) angegeben.

Für die sphärische Aberration einer unendlich dünnen Linse in Luft bei unendlich fernem Objektpunkte hat Czapski die Formel gegeben:

$$\zeta = h^3 \left[\frac{n+2}{n} D \varrho_,^2 - \frac{2n+1}{n-1} D^2 \varrho_, + \left(\frac{n}{n-1} \right)^2 D^3 \right];$$

hierin bedeutet ζ den angulären Wert des Zerstreuungskreises, $D = (n-1)(\varrho_, - \varrho_{,,})$ die Brechkraft der Linse, $\varrho_,$ bezw. $\varrho_{,,}$ den reciproken Wert des objektseitigen bezw. bildseitigen Krümmungsradius, d. i. die Krümmung der Vorder- bezw. Hinterfläche der Linse, h den Abstand des entferntesten noch zur Bilderzeugung benutzten Punktes der Linse von der Achse.

Die Größe der sphärischen Aberration hängt wesentlich ab von dem Verhältnisse der beiden Linsenradien zu einander, sowie davon, welche der beiden verschieden stark gekrümmten Flächen dem Lichte zugekehrt ist: Die Aberration ist geringer, wenn man die stärker gekrümmte Fläche dem Lichte zukehrt (z. B. bei einer plankonvexen Linse viel kleiner, wenn die konvexe, als wenn die *plane* Fläche dem Lichte zugekehrt ist). Die geringste sphärische Aberration haben für einen Brechungsindex von 1,5) solche Linsen, bei welchen die Radien beider Flächen sich verhalten wie 1 : 6 (»crossed lens« der Engländer).

Cylinderlinsen sind solche, die in der Ebene der Achse (oder einer zu ihr parallelen) die Strahlen brechen, wie planparallele Platten, dagegen in der zu jener senkrechten Ebene so, wie ein entsprechendes sphärisches Glas. Man unterscheidet einfach konvexe und konkave Cylinderlinsen, (die wieder als plankonvexe und plankonkave bezw. als bikonvexe und bikonkave geschliffen werden), sphärische Cylinderlinsen, das sind solche, bei welchen ein sphärisches Glas mit einem cylindrischen kombiniert ist (was durch das Zeichen ⌒ ausgedrückt wird, z. B. sph. $+3{,}0D$ ⌒ cyl. $+2{,}0D$ Achse . . .), und ferner die (weniger gebrauchten) bicylindrischen Linsen. Von diesen kommen praktisch fast nur die »heterologen Bicylinder« in Betracht, das sind solche, die als Kombinationen einer plankonkaven mit einer plankonvexen Linse angesehen werden können: bei parallelen Achsen sind solche Gläser nichts anderes als cylindrische Menisken (Tori), bei gekreuzten Achsen wirken sie entsprechend der einen Achse als Konvexglas, entsprechend der anderen als Konkavglas; sie können im Allgemeinen in ihrer Wirkung durch sphärisch-cylindrische Gläser ersetzt werden (weiteres s. Abschn. XI). Ihre Verbindung wird durch das Zeichen ⌈ ausgedrückt (z. B. cyl. — 2,0 Achse . . . ⌈ cyl. + 3,0 Achse . . .). Im allgemeinen kommen fast nur Bicylinder zur Verwendung, deren Achsen senkrecht zu einander stehen; doch hat man auch solche mit anderer Achsenstellung verordnet.

Als Chamblantgläser bezeichnet man Combinationen aus 2 gleichen Cylindern mit zueinander senkrechten Achsen; sie sind seit 1820 bekannt, neuerdings wieder von Sulzer statt stärkerer sphärischer Gläser empfohlen worden, da sie vor diesen z. B. den Vorzug haben, die zur Achse parallelen Linien geradlinig abzubilden. (Sulzer giebt auch den gekreuzten Cylindern den Vorzug vor den sphärisch-cylindrischen Gläsern, da man durch Drehen der Achsen allmähliche und sehr feine Abstufungen der Cylinderwirkung erreichen könne.)

§ 64. Das Material, aus dem unsere Brillengläser hergestellt werden, ist zum Teile recht verschieden, seine Kenntnis ist auch für den Arzt von Wichtigkeit. Am häufigsten wird das weiche, mit relativ geringer Dispersionskraft ausgestattete, kalihaltige Crownglas verwendet. Sein mittlerer Brechungsindex für die Linie E ist 1,531. Französisches Crownglas hat nach Javal, einen Index = 1,532—1,534, schweres Crownglas Jenaer Herkunft einen solchen von 1,57. Das bleihaltige Flintglas ist wesentlich härter als das Crownglas und hat einen höheren Index. Die aus Bergkrystall gefertigten Linsen (Index = 1,54) haben hauptsächlich den Vorteil größerer Härte, so dass sie weniger leicht zerkratzt werden (was insbesondere für Konvexgläser in Betracht kommt); außerdem sollen sie (Poeller) weniger hygroskopisch sein als die gewöhnlichen, daher weniger rasch schmutzen. Im Jahre 1886 hat Schott in Jena eine barythaltige Glassorte von wesentlich höherem Brechungsindex als Crownglas hergestellt (leichtes Flint = 1,57,

schweres, bezw. sehr schweres 1,75 bezw. 1,96). Eine ähnliche Glassorte ist 1896 von französischer Seite unter dem Namen »isometrope Gläser« in den Handel gebracht worden (Index = 1,576). Es ist damit möglich, eine etwas größere Brechkraft bei größerem Radius mit dünneren Linsen und mit geringerer sphärischer Aberration zu erzielen, doch ist der Unterschied viel zu gering, als dass er praktisch in Betracht käme. Für eine Linse von 10 Dioptrien z. B. wäre statt des Radius von 10,4 cm (n = 1,52) ein solcher von 11,5 cm nötig. Der kleine Vorteil wird zudem überkompensiert durch den Nachteil größerer Dispersion (0,031 gegen 0,02 beim Crownglas, der übrigens praktisch auch nicht in Betracht kommt). Die Gläser sind nicht härter, dagegen reiner in ihrer Masse und sollen etwas schwerer sein als die gewöhnlichen. Krüss findet die sphärische Aberration dieser Gläser zwar eine Spur geringer, als bei den gewöhnlichen, aber auch dies komme praktisch nicht in Betracht, da auch eine hundertmal größere sphärische Aberration vom Auge noch nicht bemerkt werden könnte. Die Lichtdurchlässigkeit der Isometropegläser ist etwa 1% größer als die der anderen.

Nach dem Gesagten haben die isometropen Gläser vor den gewöhnlichen keine nennenswerte praktische Vorteile (Javal, Fortunati).

§ 65. Der bei schrägem Durchgang der Strahlen durch eine Linse auftretende Astigmatismus bedingt eine Verzerrung der Netzhautbilder, wenn das Glas nicht senkrecht zur Blicklinie steht. Wollaston machte zuerst darauf aufmerksam, dass dieser Übelstand sich verringern lässt, wenn man die Gläser so schleift, dass die Blicklinie bei verschiedenen Blickrichtungen möglichst senkrecht auf dem betreffenden Teile des Glases steht. Am vollkommensten würde dies erreicht, wenn der Krümmungsmittelpunkt des Glases mit dem Drehpunkte des Auges zusammenfiele, was genau natürlich nur für Gläser mit koncentrischen Flächen möglich wäre. Wollaston forderte danach, dass die Brillengläser allgemein an ihrer dem Auge zugewendeten Seite konkav, an der Außenseite konvex sein sollten. Hiergegen wurde eingewendet, dass solche Gläser eine zu große sphärische Aberration hätten. Unter den konkavkonvexen bezw. konvexkonkaven Linsen haben sämmtliche zerstreuend wirkenden eine größere sphärische Aberration, als gleich starke symmetrische Konkavgläser; von den sammelnd wirkenden haben solche mit geringer Wölbung, also schwacher Sammelwirkung eine etwas geringere sphärische Aberration, als die entsprechend starken symmetrischen Konvexlinsen. Die Aberration wächst, wenn der Radius der Vorderfläche kleiner wird, wenn also die Gläser »stark durchgebogen« sind. Für die praktisch bei der Brillenverordnung in Betracht kommenden meist nicht stark durchgebogenen Menisken ist die sphärische Aberration nach Ostwald so gering, dass etwa eine Sehstörung in der Primärstellung dadurch

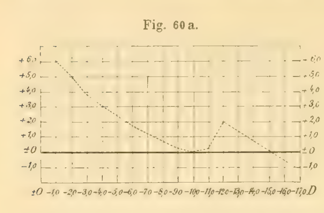
nicht bedingt werden kann. (Sogenannte aberrationsfreie Flächen, welche auch bei großer Öffnung des Systems von punktförmigen Objekten punktförmige Bilder liefern, sind zwar technisch herzustellen, aber praktisch unbrauchbar, weil sie immer nur für bestimmte Abstände aberrationsfrei sind, für alle anderen Abstände aber starke Aberration besitzen.)

Nach einer Angabe von Mauthner sollte der Gewinn des Sehens durch periskopische Gläser so gering sein, dass er praktisch kaum in Betracht käme. Mauthner selbst nahm mit einem sphärischen Konkavglase von 6,5 Dioptrien bei schrägem Hindurchsehen keine Verzerrung der Netzhautbilder wahr. Doch giebt er zu, dass besonders empfindliche Patienten, die beim Tragen von bikonkaven Gläsern über die störende Wölbung des Fußbodens klagten, (welches eine Folge der prismatischen Wirkung der Gläser ist), beim Tragen periskopischer Gläser von dieser Erscheinung nicht belästigt wurden. Infolge der geringeren prismatischen Wirkung haben periskopische Konkavgläser ein (um ein unbedeutendes) kleineres, periskopische Konvexgläser ein etwas größeres Gesichtsfeld, als entsprechende sphärische Gläser. Der Einfluss der periskopischen Gläser auf die Lage der Kardinalpunkte, die ja gleichfalls für die Größe des Gesichtsfeldes in Betracht kommt, ist aber derart, dass (anders als bei sphärischen Gläsern) sowohl bei den konkaven wie bei den konvexen Menisken die Knotenpunkte näher zur Hornhaut heranrücken. Für Konkavgläser wirken also diese beiden Umstände in gleichem, für Konvexgläser dagegen in entgegengesetztem Sinne: Das Gesichtsfeld bei zerstreuenden periskopischen Gläsern ist etwas kleiner als das bei gleichstarken sphärischen Konkavgläsern, während bei sammelnden periskopischen Gläsern nicht ohne weiteres gesagt werden kann, ob sie ein größeres Gesichtsfeld geben, als entsprechende sphärische (Mauthner). Immer ist der Unterschied auch hier zu klein, um praktisch in Betracht zu kommen. Menisken, deren Konkavität dem Auge zugewendet ist, geben ein etwas größeres Netzhautbild, als die gewöhnlichen Gläser, doch ist auch hier der Unterschied sehr gering.

Ostwald hat die Wirkung der periskopischen Gläser teils an der Hand eingehender Berechnungen, teils auf photographischem Wege untersucht und ist zu dem Ergebnisse gekommen, dass, entgegen einer verbreiteten Anschauung, bei Konkavgläsern passend gewählte Menisken bezw. plankonkave Gläser auch praktisch vor den bikonkaven den Vorzug verdienen, während bei den Konvexgläsern die Meniskenform nur in beschränktem Umfange Nutzen zu bieten vermag. Er empfiehlt daher, die bikonkaven Gläser ganz zu vermeiden und durch Menisken bezw. plankonkave Linsen zu ersetzen. Für die im einzelnen Falle zu wählende zweckmäßigste Form der Menisken hat Ostwald die Grundlagen durch Rechnung ermittelt und für Konkavgläser in dem Diagramm (Fig. 60a) wiedergegeben, aus welchem die jeweils geeigneteste Glasform leicht abzulesen ist. Die einzelnen

Ordinaten geben die Gesamtbrechkraft des Glases an, die Abscissen die Brechkraft, die für die günstigsten Verhältnisse der Periskopie die Vorderfläche des Glases haben muss. Für ein Glas z. B. mit der Wirkung von — 4,0 Dioptrien muss die Vorderfläche eine Brechkraft von + 3,0 Dioptrien haben, die Hinterfläche also eine solche von — 7,0 Dioptrien. Für Gläser von — 10,0 bezw. — 15,0 Dioptrien ist die plankonkave Form die günstigste u. s. w.

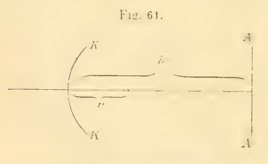
Fig. 60 a.



Bei den Sammelgläsern ist die Meniskenform nur für die schwächeren Nummern, etwa bis + 6,0 *D.*, vorteilhaft. Um periskopisch zu wirken, müssen diese Menisken stark »durchgebogen« sein, viel stärker, als die im Handel befindlichen sogenannten periskopischen Sammelgläser. Die geeigneteste Form ist experimentell zu bestimmen. Für die stärkeren Sammelgläser (z. B. Stargläser) bietet die Meniskenform hinsichtlich der Periskopie überhaupt keinen nennenswerten Vorteil.

§ 66. Als torische Linsen werden solche Menisken bezeichnet, welche die Wirkung eines Cylinderglases haben. Der Torus (in der Architektur die Bezeichnung für den ringförmigen Wulst am Fuße der jonischen Säulen) verhält sich also zum gewöhnlichen cylindrischen Glase, wie das periskopische Glas zum einfach sphärischen. Eine torische Fläche entsteht bei Rotation eines Kreises oder Kreisabschnittes um eine in seiner Ebene gelegene Achse, also z. B. um eine Sehne. Denkt man sich den mit dem Radius *r* beschriebenen Kreisbogen *KK* um die Achse *AA* gedreht, deren Abstand vom Scheitel des Kreises = *R* ist, so stellt die Oberfläche des entstandenen Rotationskörpers eine

Fig. 61.



Fläche von doppelter sphärischer Krümmung, eine torische Fläche dar: in der Ebene des Papiers hat sie die dem Radius *r* entsprechende, in der darauf senkrechten die dem Radius *R* entsprechende, geringere Wölbung. Man schleift die Gläser, die in Amerika auch als Borsch'sche bezeichnet werden), durch Bewegung eines Pendels oder eines Rades; der Rand des Rades hat einen kreisförmigen Querschnitt von dem gewünschten Radius. Die Vorteile vor den gewöhnlichen Cylindergläsern sind die gleichen.

wie die der periskopischen vor den sphärischen: da das Glas bei verschiedenen Blickrichtungen weniger schief zur Blicklinie steht, als das gewöhnliche, so sind die durch den Randteil gesehenen Gegenstände weniger verzerrt. Javal sowie Pflüger und Steiger haben besonders auf diese Vorzüge der torischen Gläser hingewiesen. Einer allgemeinen Anwendung steht vorderhand noch der verhältnismäßig hohe Preis im Wege. Da die Wirkung der Gläser eine der Cylinderwirkung analoge ist, hat Steiger für sie die Bezeichnung »cylindrische Menisken« vorgeschlagen. Pflüger bezeichnete sie als torische Menisken oder Tori, die nach ihrer Wirkung in ähnlicher Weise, wie die Cylindergläser in positive und negative einfach bezw. sphärisch-torische und bitorische Menisken eingeteilt werden können.

§ 67. Das Bedürfnis nach solchen Gläsern, die gleichzeitig zum Sehen in der Nähe und in der Ferne dienen können und somit das lästige Wechseln der Brillen überflüssig machen, das sich z. B. bei vielen Kurzsichtigen, bei Presbyopischen und Aphakischen in störender Weise geltend macht, hat zu mannichfachen Versuchen in dieser Richtung Anlass gegeben. Bekanntlich hat Franklin zuerst solche Brillen in der Weise konstruiert, dass das Fern- und das Naheglas in der Mitte auseinandergeschnitten und die passenden Stücke so zusammengekittet wurden, dass eine horizontale Trennungslinie zwischen beiden entstand; das Naheglas bildete die untere Hälfte der zusammengesetzten Brille. Bei diesen Gläsern stört vor allem die horizontale, bald durch Schmutz schwarz gefärbte Trennungslinie der beiden Hälften. Später hat man sogenannte »verres à double foyer« aus einem einzigen Stücke geschliffen. Sie haben den Nachteil, dass die Grenze zwischen beiden Gläserteilen bogenförmig und eine Glashälfte kleiner als die andere ist. Sie haben, wenigstens in Deutschland, bisher keine große Verbreitung gefunden. Neuerdings ist nach den Angaben von Pflüger ein Glas mit zwei verschiedenen Brennweiten und horizontaler Trennungslinie beider Gläserhälften hergestellt worden; die Gläser sind als Menisken geschliffen und sollen nach Pflüger u. a. auch für Staroperierte Vorzüge vor den gewöhnlichen Starbrillen haben. Diese »Doppelfocusgläser« können als sphärische wie als cylindrische hergestellt werden; bei einigen mir vorliegenden ist die Trennungslinie außerordentlich fein, so dass sie für das Sehen kaum eine große Störung verursachen dürfte.

Mehrfach ist der Vorschlag gemacht worden, auf das Glas für die Ferne ein kleineres Naheglas aufzukleben. Derartige Brillen haben u. a. Würdemann und Percival angegeben: das Fernglas ist groß, in seinem inneren, unteren Quadranten ist das kleinere Naheglas aufgeklebt. Wieder ein anderes Modell für Stargläser mit doppelter Brennweite hat kürzlich Borsch (1899) beschrieben: In der Mitte zwischen zwei Gläsern, die zusammen dem Fernsehen dienen, findet sich ein achromatisches, rundes Glas von

14 mm Durchmesser, das mit den beiden anderen zusammen dem Nahesehen dient.

In ganz anderer Weise wird das Wechseln der Gläser für das Sehen in Nähe und Ferne vermieden bei den von BOURGEOIS, GALEZOWSKY u. a. empfohlenen Brillen. Das BOURGEOIS'sche Gestell für Stargläser besteht aus einer Linse von etwa 16 Dioptrien für die Nähe, vor welche zum Sehen in die Ferne mittels eines der Augenbraue gegenüber angebrachten Gelenkes ein Konkavglas von 4—6 Dioptrien gebracht wird. Zum Sehen in der Nähe schlägt man dieses nach oben. Bei einer anderen Konstruktion erfolgt das Vor- bezw. Zurückschieben des Vorlegeglases automatisch mit Heben und Senken des Kopfes.

§ 68. In Betreff der Anwendung von Gläsern mit hyperbolischen Flächen ist folgendes mitzuteilen:

Über die günstige Wirkung hyperbolischer Gläser auf das Sehen bei Keratoconus hat insbesondere RÄHLMANN berichtet, dem das Verdienst zukommt, dieselben in die Augenheilkunde eingeführt zu haben. Neuerdings hat LOHNSTEIN, zum Teil auf Grund mathematischer Entwicklungen, den Wert solcher Gläser in Zweifel gezogen, bezw., wo eine Besserung nachweisbar war, diese auf Cylinderwirkung der hyperbolischen Gläser bei nicht genauer Centrierung bezogen. Dem gegenüber sucht eine mathematische Entwicklung von LEROY den Nachweis zu erbringen, dass auch die hyperbolischen Gläser als solche das Sehen bei Keratoconus bessern müssen. Diese sind nach RÄHLMANN's Angaben in zwei verschiedenen Systemen hergestellt. Die Gläser eines jeden einzelnen Systems sind nach Hyperbeln geschliffen, welche dieselbe Achse von $^1/_4$ bezw. 2 mm haben; die einzelnen Gläser variieren nach der Höhe des zugehörigen Asymptotenkegels.

Nach übereinstimmenden Angaben verschiedener Forscher wird die Sehschärfe in einer Reihe von Fällen von Keratoconus durch hyperbolische Gläser erheblich mehr gebessert, als mit anderen Korrektionsmitteln. Nach RÄHLMANN sollen sie auch eine (relative) Vergrößerung der fixierten Gegenstände beim Nahesehen bewirken, die gegenüber der verkleinernden Wirkung der Konkavgläser von den Kranken betont zu werden pflege. Auch sei die Deutlichkeit der am peripheren Teile des Gesichtsfeldes sichtbaren Gegenstände vorteilhaft.

Der wesentlichste Nachteil der hyperbolischen Gläser liegt darin, dass sie nur dann das Sehen verbessern können, wenn sie genau zur konischen Hornhaut centriert sind, während schon bei einer geringen Veränderung der Blickrichtung durch Bewegen des Auges das Sehen im allgemeinen verschlechtert werden wird. Auch wird das hyperbolische Glas in der Regel nur für einen kleinen Bezirk der Hornhaut günstigere Bedingungen des

Strahlenganges herbeiführen können; immerhin kann dies offenbar genügen, um eine praktisch wertvolle Besserung des Sehens herbeizuführen.

Tscherning machte den Vorschlag, gewisse Formen von Keratoconus und von sphärischer Aberration durch Menisken oder Kombinationen von plankonvexen und plankonkaven Gläsern zu korrigieren, welche letztere so vor das Auge zu setzen wären, dass beide ihre plane Fläche nach dem Auge zu wenden. Je nachdem das konkave oder das konvexe Glas dem Auge näher ist, hat eine solche Kombination eine gegen die Peripherie hin abnehmende oder zunehmende Brechkraft. Praktische Erfahrungen hierüber liegen bisher meines Wissens nicht vor.

§ 69. Die häufige Verwendung von prismatischen Gläsern oder Kombinationen solcher mit sphärischen macht es nötig, die Lichtbrechung beim Durchtritte des Lichtes durch ein Prisma kurz zu erörtern.

Wir beschränken uns auf monochromatisches Licht und den Fall, dass der einfallende Strahl in einer zur brechenden Kante senkrechten (also hier mit der Papierebene zusammenfallenden) Ebene liege.

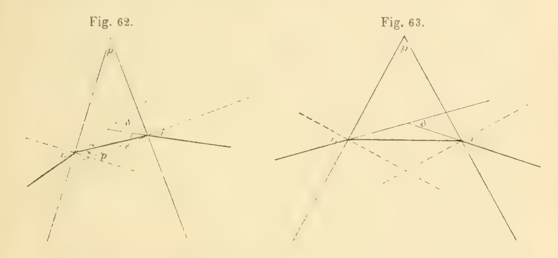


Fig. 62. Fig. 63.

Der Grad der Ablenkung hängt ab vom Index des Glases und der Größe des brechenden wie der des Einfallswinkels. Sind $i_{,}$ bezw. $i_{,,}$ die Winkel, welche der einfallende bezw. gebrochene Strahl mit den zugehörigen Loten bilden, und p der brechende Winkel des Prismas, n der Index des Glases, so berechnet sich $i_{,,}$ nach der Formel:

$$\sin i_{,,} = \sin p \sqrt{n^2 - \sin^2 i_{,}} - \cos p \sin i_{,} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

Bezeichnen wir mit δ den Ablenkungswinkel, d. h. den Winkel, den die Richtung des gebrochenen mit der Richtung des einfallenden Strahles macht, so ergiebt sich aus der Figur:

$$\delta = \alpha + \beta = i_{,} - \alpha_{,} + i_{,,} - \beta_{,};$$

ferner ist der (dem Winkel zwischen den beiden Loten auf den Prismenflächen gleiche) Winkel $p = \alpha_{,} + \beta_{,}$, daher $\delta = i_{,} + i_{,,} - p$.

Das Minimum der Ablenkung im Prisma findet statt, wenn $i_{,} = i_{,,}$, d. h. wenn ein- und austretender Strahl mit ihrer zugehörigen Prismenfläche gleiche Winkel bilden. Für diesen Fall ist $\delta = 2i - p$; da ferner für $i_{,} = i_{,,}$ auch $\alpha_{,} = \beta_{,} = \frac{p}{2}$ wird, so folgt $\sin i_{,} = \sin i_{,,} = n \sin \frac{p}{2}$, also $\delta = 2 \arcsin \left(n \sin \frac{p}{2}\right) - p$. Für kleine Prismenwinkel kann man statt der Sinus die Bogen setzen und es wird:

$i_{,} = i_{,,} = \frac{np}{2}$ und $\delta = (n - 1)p$. Für $n = 1{,}5$ wird $\delta = \frac{p}{2}$, d. h. für kleine Prismenwinkel und einen Brechungsindex $= 1{,}5$ kann man die Minimalablenkung gleich der Hälfte des Prismenwinkels setzen.

Ein homocentrisches Strahlenbüschel bleibt nach der Brechung im Prisma nur dann homocentrisch, wenn es im Minimum der Ablenkung durchtritt, d. h. in einer zur brechenden Kante senkrechten Ebene verläuft und gegen beide Prismenflächen unter gleichen Winkeln geneigt ist. Daher sind (theoretisch) prismatische Brillen thunlichst so zu stellen, dass die Halbierungslinie des halben Prismawinkels senkrecht auf der Blicklinie steht, damit, soweit möglich, in der dem Minimum der Ablenkung entsprechenden Richtung hindurchgesehen werde. Geringe Abweichungen von dieser Forderung werden bei den praktisch allein in Betracht kommenden schwachen Prismen keine merkliche Störung zur Folge haben.

Alle nicht im Minimum der Ablenkung durchtretenden homocentrischen Strahlenbüschel sind nach der Brechung nicht mehr homocentrisch, sondern astigmatisch. Für den Fall, dass der einfallende Strahl in einer zur brechenden Kante senkrechten Ebene verläuft, gehört das gebrochene Strahlenbündel der zweiten oben besprochenen Form von Astigmatismus an.

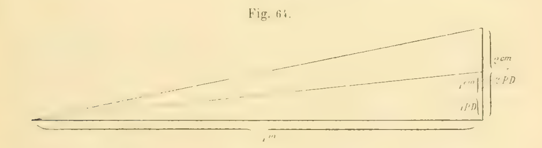
Die in unseren Brillenkästen befindlichen Prismen sind meist nach den brechenden Winkeln bezeichnet, in der Regel in Serien von 1—20°. Sie sind gewöhnlich aus Crownglas gefertigt (wegen dessen geringer Dispersion): ein mit 6° bezeichnetes Prisma würde nach obigem im allgemeinen eine Ablenkung von 3° hervorrufen. Für höhere Nummern sind die Ablenkungswinkel etwas größer, als die halben Prismawinkel. Landolt hat (1899), ebenso wie früher Jackson (1887), darauf hingewiesen, dass es zweckmäßiger sei, die Prismen nicht nach der Größe ihres brechenden Winkels, sondern ihrer ablenkenden Kraft zu bezeichnen, und zwar soll zur Bezeichnung der Winkel dienen, der dem Minimum der Ablenkung entspricht. Dieser ist direkter Messung leicht zugänglich; man wird daher so von den Angaben des Glasschleifers unabhängig.

Es ist mehrfach hervorgehoben worden, dass, wesentlich infolge technischer Schwierigkeiten bei der Herstellung der Prismen, daneben auch wegen der Vernachlässigung des Brechungsindex des Glases, die bisherige Art der Numerierung der Prismen unzuverlässig und mit oft recht großen Fehlern behaftet sei. Zum Zwecke genauerer Bezeichnung der Prismenstärke und um zugleich diese Bezeichnung mit unseren übrigen Maßausdrücken (für die Brechwerte der Linsen) in Übereinstimmung zu bringen, hat PRENTICE (1888) als Einheit für die Prismenskala diejenige brechende Kraft eines Prismas vorgeschlagen, welche in einem Abstande von 1 m eine tangentielle Verschiebung um 1 cm hervorruft. Diese Einheit kann nach SWAN BURNETT als Prismendioptrie bezeichnet werden. Bei einem Brechungsindex von 1,53 erzeugt ein Prisma mit einem brechenden Winkel von 1° in 1 m Abstand eine Ablenkung von ungefähr 1 cm (genauer 0,924 cm), entspricht also angenähert einer Prismendioptrie.

Die Übereinstimmung mit den Linsendioptrien ist einleuchtend, wenn man erwägt, dass ein Prisma, welches die gleiche Ablenkung von 1 cm in $^1/_2$, $^1/_3$ oder $\frac{1}{n}$ Meter Entfernung hervorruft, eine 2, 3, . . . n fach stärker ablenkende Kraft besitzen muss. In 1 m Entfernung wird dieses eine Ablenkung von 2, 3 . . . n cm erzeugen.

Die ablenkende Kraft eines Prismas in Prismendioptrien lässt sich rasch und für viele praktische Zwecke genügend genau bestimmen, indem

Fig. 64.



man an einer in 1 m Abstand senkrecht zur Blicklinie angebrachten Centimeterskala die durch Vorsetzen des Prismas bedingte Verschiebung des Nullpunktes der Skala abliest. Am einfachsten geschieht dies, indem man das Prisma so vor die Pupille hält, dass mit der oberen Pupillenhälfte die wirkliche, mit der unteren die verschobene Skala gesehen wird.

Die diesem linearen Maße entsprechende Winkelgröße, den Ablenkungswinkel, ermittelt man, indem man die Zahl der Prismendioptrien in 100 dividiert. Der Bruch stellt die Tangente des gesuchten Ablenkungswinkels dar.

Die für die kleineren Ablenkungen zu verschiedenen Prismendioptrien gehörigen Ablenkungswinkel sind in nebenstehender Tabelle verzeichnet.

Prismendioptrien	Ablenkungswinkel
1	0° 34′
2	1° 9′
3	1° 43′
4	2° 17′
5	2° 52′
6	3° 26′
7	4° —
8	4° 34′
9	5° 09′
10	5° 43′.

(Hirschberg befürwortet (1892) die Beibehaltung der alten Prismenbezeichnung, da auch bei dem stärksten in der Praxis benutzten Prisma der Fehler, den man begeht, wenn man den Ablenkungswinkel gleich dem halben Prismenwinkel setzt, nur 6% beträgt.

Der Vorschlag, prismatische Brillen zu ophthalmiatrischen Zwecken zu verwenden, ist von dem Astronomen Krecke in Utrecht ausgegangen. Donders hat den Vorschlag zuerst praktisch ausgeführt, die Indikationen für die Verwendung der prismatischen Gläser genauer entwickelt und letztere zur Untersuchung physiologischer Fragen, insbesondere aus der Lehre von den Augenbewegungen und dem binocularen Sehen, zweckmäßig benutzt; sie werden bei geringen Graden von dynamischer Convergenz oder Divergenz allein oder in Kombination mit sphärischen Gläsern vielfach verordnet (vgl. Abschn. XII).

Da man die Convergenzgrade oft in Meterwinkeln ausdrückt (vgl. den Abschnitt über das Sehen mit 2 Augen, § 187), so kann es von Interesse sein, die Beziehungen der Prismendioptrien zu den Meterwinkeln zu kennen; es ist nicht zu vergessen, dass mit der Pupillendistanz sich der Meterwinkel ändert, daher auch das den letzteren ersetzende Prisma. Für die praktisch in Betracht kommenden Werte gilt genügend genau, dass die halbe Pupillendistanz die Zahl der Prismendioptrien angiebt, welche für jedes Auge einen Meterwinkel ersetzen. Für eine Pupillendistanz von 60, bezw. 68 mm entsprechen einem Meterwinkel 3, bezw. 3,4 Prismendioptrien.

§ 70. Jedes sphärische Glas hat in seinen excentrischen Teilen eine prismatische Wirkung. Sind zwei Konvexgläser so vor beide Augen gebracht, dass für einen bestimmten Punkt beide Blicklinien genau durch die Centren der Gläser gehen, so wirken für alle näheren (nasalwärts gelegenen) Punkte die inneren Hälften der Gläser als adducierende, für alle entfernteren Punkte die äußeren Hälften als abducierende Prismen; näher gelegene Punkte erscheinen also näher als sie sind, für ihre Fixation ist eine relativ vermehrte Convergenz erforderlich; ferner gelegene Punkte erscheinen ferner

als sie sind, für ihre Fixation ist eine geringere Convergenz erforderlich, als ihrer wahren Lage entspricht. Wenn zum gewöhnlichen Nahesehen genau durch die Gläsermitten gesehen werden soll, so müssen die letzteren einen um ca. 5 mm geringeren gegenseitigen Abstand haben, als beim Fernsehen. Eine für das Fernsehen den Augen richtig angepasste Konvex- bezw. Konkavbrille wirkt also beim Nahesehen wie ein adducierendes bezw. abducierendes Prisma.

Man kann somit durch Decentrieren der Brillengläser innerhalb bestimmter Grenzen prismatische Wirkung erzielen. Der Grad dieser letzteren ist proportional der Größe der Decentration und der Brechkraft der Linse.

Die prismatische Wirkung eines Konvexglases in beliebigem Abstande von der Achse lässt sich in folgender Weise bestimmen:

Von einer (aberrationsfreien) Linse von 1 Dioptrie wird ein in 1 cm Abstand von der Achse einfallender Strahl in 1 m Entfernung um 1 cm abgelenkt, die prismatische Wirkung der Linse in diesem Punkte ist also = 1 Prismendioptrie. Es ergiebt sich ohne weiteres, dass jede konvexe oder konkave Linse in einem Abstande von 1 cm von der Achse eine prismatische Kraft von so vielen Prismendioptrien hat, wie sie selbst Linsendioptrien besitzt. In einem Abstande = 0,25 cm von der Achse ist sie den vierten Teil, in 2 cm Abstand doppelt so groß. Man kann also für jede beliebige Decentration die Ablenkung in Prismendioptrien oder (z. B. nach obiger Tabelle) in Winkelgraden bestimmen. Genaue Berechnungen über die prismatische Wirkung der Brillen bei verschiedener Stärke und Decentration haben u. a. Bjelow und Groenouw mitgeteilt. Imbert hat (1886) für den Grad der prismatischen Ablenkung eines sphärischen Glases die Formel gegeben $\delta = 0{,}0573^\circ\, lD$ (rund $0{,}06^\circ\, lD$), worin D die Brechkraft und l den Abstand des einfallenden und des gebrochenen Strahles von der Achse der (unendlich dünnen) Linse (in Millimetern) bedeuten.

Fig. 65.

Geometrisch kann man die prismatische Wirkung der Linse an den Punkten $a_{\prime}$ und $a_{\prime\prime}$ finden, indem man die Tangenten an die entsprechenden Linsenpunkte zieht. Die Ablenkung ist dann gleich jener im Prisma $a_{\prime}\, p\, a_{\prime\prime}$.

Der praktische Vorteil der Prismenbezeichnung nach Prismendioptrien liegt wesentlich darin, dass man die ablenkende Kraft unserer Prismen unabhängig von dem eingezeichneten Winkel und der Brechkraft des Glases messen und die ablenkende Kraft von sphärischen Gläsern oder von Kombinationen von Linsen mit Prismen leicht durch Messung oder Rechnung) ermitteln kann. Um in pathologischen Fällen, z. B. bei Insufficienz der Adduktoren oder Abduktoren eine zweckentsprechende Ordination

geben zu können, wäre es notwendig, auch diese in Prismendioptrien auszudrücken.

Beispiel: Ein Patient mit Myopie = 5,0 D habe eine Insufficienz der Convergenz = 10 Pr. D. Theoretisch wäre es möglich, diese auszugleichen, indem man die beiden Gläser um je 1 cm decentrierte. Eine derartige Decentration würde bei den heute gebräuchlichen Brillengläsern praktisch kaum durchführbar sein. Ebensowenig wäre die Ordination von Prismen allein (ohne Decentration der Konkavgläser) zweckmäßig, denn es wären beiderseits Prismen von 5 Pr. D (d. i. einem Ablenkungswinkel von $2^{0} 52'$, also einen Prismenwinkel von fast 6^{0}) nötig, was schon wegen des großen Gewichtes solcher Gläser nicht thunlich ist.

Wenn man dagegen die Konkavgläser etwa beide um je 5 mm decentrierte, so wären 5 Pr. D der Insufficienz korrigiert und die noch übrigen 5 könnten durch 2 Prismen von je 2,5 Pr. D korrigiert werden. (Das Beispiel ist nicht sowohl mit Rücksicht auf praktisch häufige Fälle gewählt, als im Hinblicke auf die in der Tabelle angeführten Zahlen.)

Ein bezüglich der prismatischen Wirkung sphärischer Gläser interessantes Verhältnis findet sich, wenn einem sphärischen Glase von großem Durchmesser solche Stellung gegeben wird, dass seine optische Achse in die Medianebene des Körpers fällt und beide Augen durch das Glas hindurchsehen. In diesem Falle findet für jedes Auge eine prismatische Wirkung statt, welche dem Betrage nach gerade der durch das sphärische Glas bewirkten Änderung der optischen Einstellung gleichkommt. Beide Wirkungen sind der Brechkraft der Linse direkt proportional. Um ebenso viel, als die vorgesetzte Konvexlinse die Akkommodation entlastet, wird die Convergenz durch die prismatische Wirkung des Konvexglases entlastet; um so viel, als eine Konkavlinse vermehrte Thätigkeit der Akkommodation verlangt, fordert die prismatische Wirkung des Glases vermehrte Convergenzanstrengung. Der Zusammenhang zwischen Convergenz und Akkommodation bleibt also bei Vorsetzen solcher Gläser für Augen jeder Refraktion ungestört, während jedes Konvex- oder Konkavglas in der gewöhnlichen Stellung, bei der seine Achse mit der Augenachse zusammenfällt, diesen Zusammenhang ändert. Derartige Gläser sind die bekannten großen Handlupen von 10—15 cm Durchmesser, welche nahe Objekte mit beiden Augen unter geringer Convergenz zu betrachten gestatten.

Brillengläser, welchen durch Kombination mit passenden Prismen eine gleiche Wirkung gegeben wird, wie jene großen Gläser sie zeigen, sind von Scheffler als orthoskopische beschrieben worden. Sie finden Anwendung teils als Brillen und Lorgnetten, teils als binoculare Lupen.

Die sogen. Brücke'sche Lupe ist eine angenähert orthoskopische Brille, die das Arbeiten bei großer Annäherung des Objektes ohne entsprechende Mehrung der Convergenz ermöglicht. Die Gläser sind aus beiden Hälften einer in der Mitte durchschnittenen plankonvexen Linse gearbeitet und mit

geeigneten Prismen verbunden. Die neuerdings von Berger angegebene Lupe unterscheidet sich von diesem Modell hauptsächlich durch leichte Drehung der Gläser um ihre horizontale und ihre vertikale Achse.

§ 71. Kontaktgläser. In den letzten Jahren sind wiederholt Versuche gemacht worden, die durch unregelmäßige Wölbung der Hornhautoberfläche hervorgerufenen Störungen dadurch zu beseitigen, dass man dicht vor die Hornhaut sphärische Gläschen von geeigneter Wölbung setzte und die Brechung an der Hornhaut selbst durch eine Flüssigkeitsschicht zwischen letzterer und dem Glase ausschaltete (event. genügt hierzu schon die vorhandene Thränenschicht). Eine Andeutung des Gedankens, auf ähnlichem Wege unregelmäßige Hornhautbrechung unschädlich zu machen, findet sich schon bei W. Herschel (1827). E. Fick hat zuerst die praktische Ausführbarkeit einer solchen Korrektion gezeigt; technische Verbesserungen wurden später von Kalt und von Sulzer an diesen Fick'schen Kontaktgläsern angebracht, mit welchen Dor, Müller u. a. experimentierten. Das wesentliche Ergebnis ist, dass aus einem Stücke geschliffene Gläser sich am zweckmäßigsten erwiesen, dass öfter sehr beträchtliche Besserung des Sehvermögens erzielt wurde, dass aber in der Regel nach längerem Tragen, nicht selten schon nach 1/2 Stunde, starke Reizerscheinungen, Schmerzen etc. auftraten, die die Entfernung des Glases nötig machten. Andererseits fand Fick, dass seine Kontaktgläser bis zu 6 Stunden getragen werden konnten.

Später hat Lohnstein an seinen eigenen mit Keratoconus behafteten Augen bemerkenswerte Erfolge erzielt, indem er ein nach dem Prinzip des Czermak'schen Orthoskopes gebautes, der Umgebung des Auges sich dicht anschließendes Kästchen vor diesem befestigte und auf dessen vordere (plane) Begrenzungsfläche ein Plankonvexglas von passender Stärke aufsetzte.

Lohnstein konnte dieses Hydrodiaskop« bis zu 8 Stunden am Tage tragen, ohne eine Spur von Reizung des Auges zu bemerken, wenn er nach je 1 1/2 Stunden eine Pause von 1/4—1/2 Stunde machte. Seine Sehschärfe, die mit — 8 D nur 1/8 betrug, stieg nach Vorsetzen des Apparates auf 2/3, bei guter Beleuchtung sogar auf die normale. Der Raum zwischen Glaskammer und Auge wurde mit 0,5 bis 1%iger Kochsalzlösung ausgefüllt, deren Index jenem des Kammerwassers angenähert gleich ist. Der Brechungsindex der Hornhaut ist von beiden zu sehr verschieden, als dass er vernachlässigt werden könnte. Dies zeigte sich nach Lohnstein z. B. schon darin, dass die Vorrichtung den Astigmatismus nicht vollständig auszugleichen imstande war, da durch Vorsetzen eines geeigneten Cylinderglases die Sehschärfe sich merklich bessern ließ. Der Akkommodationseffekt wird durch das Hydrodiaskop wesentlich beeinträchtigt. Ein emmetropisches Auge, das ohne Glas auf 15 cm einstellt, kann mit dem Glase nur auf 31,2 cm einstellen.

§ 72. Als stenopäische Brillen können alle jene Vorrichtungen bezeichnet werden, bei welchen eine größere Schärfe des Netzhautbildes nicht durch Änderung des Strahlenganges herbeigeführt wird, sondern dadurch, dass man die Größe der Zerstreuungskreise durch passende Blenden möglichst zu verringern sucht; die einfachste Form solcher Brillen ist ein mit einem feinen Loche versehenes Diaphragma. Die Besserung des Sehens kann durch solche Blenden sehr bedeutend sein; ihrer Anwendung in der Praxis steht neben den bei zu enger Öffnung auftretenden Beugungsaberrationen und der störenden Herabsetzung der Lichtstärke vor allem die starke Einschränkung des Gesichtsfeldes im Wege, die den mit solchen Blenden Bewaffneten in seiner Bewegungsfähigkeit in hohem Maße beschränkt. Man hat diesen Nachteil dadurch zu umgehen gesucht, dass man in einer (etwa muschelförmigen) vor das Auge gesetzten Blende nicht ein, sondern zahlreiche Löcher in radiärer Anordnung anbrachte (»Siebbrillen«, Roth, Heilborn). Kürzlich hat Snellen bei Keratoconus Blenden mit spaltförmigem, horizontalem Schlitz empfohlen; der Schlitz ist an seinem einen, vor der Hornhaut gelegenen Ende sehr schmal, wird aber gegen die rechte Seite hin etwas breiter; dadurch ist die Möglichkeit gegeben, z. B. beim Lesen die ganze Zeile zu überblicken und zugleich bei Benutzung des schmalen Spaltteiles genügend scharfe Netzhautbilder zu erhalten. Eine ähnliche Brille, aber mit vertikalem, peripher schmaler werdendem Spalte, hat Hensen angegeben.

§ 73. Der Zusammenstellung der wichtigsten Arten von Brillen fügen wir eine kurze Übersicht über die Anwendung farbiger Brillengläser in der Augenheilkunde an.

Es sind der Reihe nach rote, gelbe, grüne, blaue, sowie farblos rauchgraue Gläser als die für die Augen vorteilhaftesten empfohlen worden. Böhm empfahl die blauen Gläser, weil das blaue Licht schonender als die anderen sei, das rote speziell die Netzhaut reize. Galderini hält das gelbe Licht für besonders reizend und empfiehlt deshalb gleichfalls das komplementäre Blau für die Brillen. Gelbe Brillen werden von Brachet und Giseli empfohlen, weil sie die Wärmestrahlen erhalten und die chemischen vermindern. Ebenso empfiehlt Fieuzal die gelben Gläser, Javal ist für grüne Brillen, die nur das mittlere Licht des Spektrums durchlassen. Rauchgraue Gläser werden von Magnus u. a. empfohlen, weil sie alle Strahlen angenähert gleichmäßig abschwächen sollen. Es ist aber zu bemerken, dass auch die besten rauchgrauen Gläser (sogen. London smoke) im allgemeinen nicht ganz farblos sind, sondern meist ins bläuliche oder rötliche bis gelbe spielen. Mehrere derartige Gläser übereinander gelegt geben oft eine sehr ausgesprochene rot-violette Farbe. Neuerdings verfertigt die Firma Zeiss rauchgraue Gläser, die das Spektrum angenähert gleichmäßig abschwächen sollen. Pergens empfiehlt Gläser, die thunlichst nur blaue Strahlen durchlassen.

wesentlich deshalb, weil nach ihm unter dem Einflusse blauen Lichtes die Zusammenziehung der Zapfen am geringsten und die Pigmentwanderung nur mäßig sei. Er hält das rote Licht für die Retina am schädlichsten. (VAN GENDEREN STORT hat eine Reihe von Einwänden gegen die fraglichen Angaben erhoben. Auch darf nicht vergessen werden, dass diese Beobachtungen über Pigmentwanderung wesentlich nur am Kaltblüter (zum Teil auch an Vögeln) angestellt sind; beim Säugetier ist eine nennenswerte phototrope Pigmentwanderung bis heute überhaupt noch nicht sicher nachgewiesen.

Die Begründung der Vorzüge und Nachteile der einzelnen Farben, welche ich hier nur kurz andeute, scheint mir im allgemeinen wenig einwandfrei zu sein, wie denn auch über den Nutzen farbiger Gläser überhaupt die Ansichten noch weit auseinander gehen. Das wesentliche wird unter allen Umständen wohl die Herabsetzung der Lichtstärke sein und es scheinen mir für die meisten Fälle rauchgraue Gläser mindestens eben so gute Dienste zu thun, wie die farbigen. Bei Verordnung solcher Gläser wird, wie mir scheint, nicht immer genügend berücksichtigt, dass durch Tragen derselben die Augen bis zu einem gewissen Grade dunkeladaptiert und dementsprechend lichtempfindlicher werden.

Im allgemeinen werden nur Plan- bezw. Muschelgläser zu farbigen Brillen verwendet, da bei den sphärischen die verschiedene Dicke des Glases an den verschiedenen Stellen verschieden große Sättigung der Farbe bedingen würde, wenigstens für jene farbigen Gläser, die in ihrer ganzen Masse durchgefärbt sind. Viele der Gläser, insbesondere die roten, sind nur mit Farbe „überfangen", d. h. an der Oberfläche mit einer farbigen Schicht überzogen, die an den sphärischen Gläsern erst besonders hergestellt werden muss. Zum Teil hilft man sich so, dass man das nötige sphärische Glas als plankonvexes bezw. plankonkaves herstellt und auf die plane Fläche ein gefärbtes Planglas aufklebt.

Was die Herstellung der farbigen Gläser angeht, so möge nur angeführt sein, dass rote Gläser in der Regel durch Kupferoxydul oder Goldchlorid gefärbt werden, gelbe mit antimonsaurem Kali, gelbrötliche durch Eisensesquioxyd, gelbgrüne durch Uranoxyd. Grüne Gläser werden hergestellt durch Zusatz von Chromoxyd oder Eisenoxydul, blaue durch Kobaltoxyd. Zusatz von Manganoxyd führt diese blauen Töne in violette über. Die rauchgrauen Gläser endlich erhält man meist durch Zusatz von Manganoxyd, Kobaltoxyd, Eisenoxydul und Kupferoxyd zu der Glasmasse.

Litteratur.

1864. Burow, Über die Reihenfolge der Brillenweiten. Berlin.

1866. Steinheil, Über Brillengläserskalen und Akkommodationsvergleichungen. Zeitschr. f. Biol. II. S. 366.

Gerold, Die zweifache Plankonvexbrille u. s. w. Arch. f. Ophth. XII, 1. S. 31.

1867. Javal, Die einheitliche Maßbestimmung der Brillenbrennweiten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. V. S. 297.

1873. Burow, Das Metermaß zur Berechnung der Brillenbrennweite. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 145.

Monoyer, Sur l'introduction du système métrique dans le numérotage des verres de lunettes. Ann. d'Ocul. LXIX. S. 97.

Nagel, Zur Brillennumerierungsfrage. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 93.

Zehender, Zur Frage der Einführung des französischen Maßes in die Dioptrik. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 267.

1874. Nagel, Einheit der Brillengläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 362.

1876. Badal, Optomètre métrique internat. Ann. d'Ocul. LXXV. S. 101.

Landolt, Die Einführung des Metersystems in die Ophthalmologie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIV. S. 223.

1877. Javal, Sur le numérotage des verres de lunette. Ann. d'Ocul. LXXVIII. S. 201.

Javal, Des lunettes en verres de couleur. Gaz. méd. de Paris. No. 7.

Javal, Des verres de lunettes achromatiques. Gaz. méd. de Paris. No. 16.

Landolt, Das Verhältnis der Brillengläser der alten zu denen der neuen Serie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 333 u. Ann. d'ocul. LXXVIII. S. 44.

1878. Bertin, Théorie élémentaire des lentilles sphèriques minces ou épaisses. Ann. de chimie et de physique. 5. sér. XIII. S. 476.

Hermann, L., Über Brechung bei schiefer Incidenz, mit besonderer Berücksichtigung des Auges. Arch. f. Physiol. XVIII. S. 443.

Oudemans, Sur la détermination des distances focales des lentilles à court foyer. Arch. Néerl. S. 149.

1880. Ferrini, Über die sphärische Aberration bei Linsen von der gewöhnlichen Dicke und Öffnung und bei den centrierten dioptrischen Systemen. Ref. in Wiedemann's Beibl. V. S. 271.

Javal, Lentille de Stokes modifiée. Ann. d'Ocul. S. 80.

Raehlmann, E., Zur Frage der Korrektion des Keratoconus durch Gläser. Berliner klin. Wochenschr. No. 34.

Rayleigh, Über das Minimum der Aberration einer einzelnen Linse für parallele Strahlen. Cambr. Phil. Soc. Proc. III. S. 373.

Schöler, Über hyperbolische Brillengläser zur Korrektur des Keratoconus. Berliner klin. Wochenschr. No. 26.

1881. Bénaky, Du kératocone et de sa correction par les verres coniques. Paris. 97 S.

Dor, Traitement du kératocone par l'emploi des verres coniques. Lyon méd. 20. Février.

Raehlmann, E., Hyperbolische Linsen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 303.

1882. Raehlmann, E., Über die optische Wirkung der hyperbolischen Linsen bei Keratoconus und unregelmäßigem Astigmatismus, sowie über die Anwendung derselben als Brillen. 14 Fälle. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 111.

1883. Badal, Verres périscopiques et cônes de Steinheil. Ann. d'Ocul. LXXXIX, 1. S. 19.

Bagneris, E., Emploi des verres correcteurs en ophtalmologie. Thèse pour le concours d'aggrégation. Paris.

1884. Cohn, H., Das Dioptrielineal zur Brillenprobe. Deutsche med. Wochenschr. No. 14.
Ferguson, R. M., The dioptric system and its relation to the old system of numbering lenses. Louisville med. News. XIX. S. 353.
Horner, F., Über Brillen aus alter und neuer Zeit. 48. Neujahrsblatt zum Besten des Waisenhauses in Zürich für 1885.
Abbe, Note on the proper definition of the amplifying power of a lens or lens system. Journ. R. Micr. Soc. II. S. 348.
1885. Zehender, 1. Über den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. 2. Über aplanatische Brillengläser. Ber. über d. 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 29.
1886. Below, Zur Brillenlehre Kutscheryii ob otschkach). Westnik ophth. III, 2. S. 91.
Burnett, Swan, The metre-lens, its English name and equivalent. New York med. Journ. XLIV. S. 183.
Burnett, Swan, The dioptry again. New York med. Journ. XLIV. S. 380.
Culbertson, On the use of cylindrical glasses in compound astigmatism. Journ. of Ophth. III. S. 14.
Exner, S., Über Cylinder, welche optische Bilder entwerfen. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXVIII. S. 217.
Exner, S., Nachtrag zu der Abhandlung: »Über Cylinder, welche optische Bilder entwerfen«. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 244.
Exner, S., Über aniso-dioptrische Cylinder. Ber. d. 18. Vers. d. ophth. Ges. S. 49. (Diskussion S. 53.)
Green, J. D., On spectacle lenses of asymmetrical curvature. Amer. Journ. of Ophth. S. 53.
Groenouw, Arthur, Beiträge zur mathematischen Berechnung der Wirkung prismatischer Brillen. Inaug.-Diss. Breslau.
Hay, G., The combination of two cylindrical lenses. (Amer. Ophth. Soc. 22. annual session, held at New-London.) Ophth. Rev. S. 257.
Jackson, The equivalence of cylindrical and sphero-cylindrical lenses. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-second meeting. New-London. S. 268 u. Amer. Journ. of Ophth. S. 262.
Imbert, Calcul de l'effet prismatique des verres décentrés. Ann. d'Ocul. XCV. S. 146.
Koller, K., Über eine eigentümliche Sorte dioptrischer Bilder. Ein Beitrag zur Theorie der Cylinderlinsen.) v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 3. S. 169.
Plehn, F., Brillen und Brillenbestimmung. Deutsche Med.-Ztg. Heft 67.
Purtscher, O., A suggestion concerning the correction by glasses of certain anomalies of the curvature of the cornea. Arch. Ophth. New York. XV. S. 264.
Reynolds, Dudley S., The prolate lens of Dr. Fox. — Mr. Borsch's sphero-cylinders on one surface. Amer. Journ. of Ophth. III. S. 95.
Risley, F. C., Glasses; their use and abuse. N. Eng. med. Month. V. S. 298.
Roosa, St. John, Limitations in the value of glasses for improvement of vision and the relief of disease. New York med. Journ. 13. März. S. 289.
1887. Burnett, On some of the optical properties of spherical and cylindrical lenses placed obliquely to the incident pencils of light. Amer. Journ. of Ophth. S. 15.
Carter, Franklin's spectacles. Ophth. Rev. S. 182. (Ophth. Soc. of the United Kingd. 5. Mai.)
Czapski, S., Neues Sphärometer zur Messung der Krümmung von Linsenflächen. Zeitschr. f. Instrumentenk. VII. S. 297.
Fox, L. W., Trial frame, manufactured by the Geneva optical Co., Geneva. New York. Amer. Journ. of Ophth. S. 198.

1887. Holden, Simple methods of finding the axis of a prism. Amer. Journ. of Ophth. S. 119.

Jackson, The designation of prisms by the minimum deviation instead of by the refraction-angle. (Internat. med. Congr. Section of Ophth. Amer. Journ. of Ophth. S. 296.

Jackson, The effect of placing a lens oblique to the visual axis. (Amer. med. assoc.; section of ophth.) Ophth. Rev. S. 247.

Jackson, Small test lenses and trial frames. Ophth. Rev. S. 304.

Mayer, Das Ringsphärometer zur Messung der Krümmungsradien von Linsen jeder Größe. Amer. Journ. of Sc. III. S. 32. Ref. in Zeitschr. f. Instrumentenk. VII. S. 297.

Neumann, C., Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und das Mikroskop. Mit 95 Abb. Wien, Hartleben.

Oldham, C., Glasses à double foyer. Brit. med. Journ. I. S. 154.

Pickering, C. C. and Chas. Williams, Foci of lenses placed obliquely. Proceedings of the Amer. Academy.

Reynolds, D. S., Necessity for reform in the manner of designating lenses. (Internat. med. Congr. Sect. of Ophth.) Amer. Journ. of Ophth. S. 295.

1888. Burnett, Models exhibiting refraction by cylinders. Amer. Journ. of Opht. S. 210.

Doijer, D., De brillenkwestie. Feestbundel, Donder's Jubiléum. Amsterdam. S. 60.

Fick, A. E., Eine Kontaktbrille. Arch. f. Augenheilk. XVIII. S. 279.

Fränkel, G., Die Wirkung der Cylinderlinsen, veranschaulicht durch stereoskopische Darstellung des Strahlenganges. Wiesbaden. J. F. Bergmann.

Gallenga, Dimostrazione pratica dell' azione secondaria delle lenti convesse. Boll. di sc. med. III, 6.

Gould, A new style of bi-focal lenses. Med. and Surg. Rep. Philadelphia. LIX. S. 545.

Gould, Fitting spectacle frames to the face. Amer. Journ. of Ophth. S. 50.

Harchek, A., Optometer und Apparat zum Messen der Brennweiten und zum Centrieren optischer Linsen. Breslau. Ärztl. Zeitschr. X. S. 139.

Hasselberg, Über eine Methode, die Brennweiten eines Linsensystems für verschiedene Strahlen mit großer Genauigkeit zu bestimmen. Bull. de l'Acad. des Sc. de St. Pétersbourg. XXXII. S. 412. Ref. in Wiedemann's Beibl. XII. S. 782.

Netoliczka, E., Auge und Brille. Vom physikalischen und hygienischen Standpunkte für weite Kreise dargestellt. Wien. 141 S.

Prentice, Ch. F., Ein metrisches System zur Bezeichnung und Bestimmung von Prismen. (Einleitende Bemerkungen von Dr. Swan M. Burnett. Arch. f. Augenheilk. XXII. S. 215.

Prentice, Ch. F., A metric system of numbering and measuring prisms. Arch. Ophth. XIX. S. 64.

Prentice, Ch. F., Dioptric formulae for combined cylindrical lenses. New York.

Titow, G., Über Sehschärfe bei Refraktionsanomalien. (Ob ostrote srenja pri anomalijach refraktzii.) Westnik ophth. V, 6. S. 477.

v. Zehender, W., Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage. (Vorläufige Mitteilung.) Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 393.

1889. Bull, J. G., Lunettes et Pince-nez. Etude médicale et pratique. Paris. G. Masson.

Harlan, Periscopic cylindrical and sphero-cylindrical glasses. Transact. Amer. Ophth. Soc. XXV. S. 433.

Liebreich, Nouveau modèle de pince-nez. Rev. gén. d'Opht. S. 287.

Maddox, The clinical use of prisms and the decentering of lenses. Bristol.

Müller, Brillengläser und Hornhautlinsen. Inaug.-Diss. Kiel.

1889. Piltschikoff, Über ein Linsenrefraktometer. Journ. de physique élément. No. 4. S. 193.

Risley, S. D., A new rotary prism. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-fifth annual meeting. New London. S. 412.

Schultze und Bartels, Optometer zur astigmatischen und sphärischen Bestimmung mit dreh- und verschiebbarem, stabförmigem Linsenträger. Zeitschr. f. Instrumentenk. IX. S. 156.

1890. Berger, Appareil destiné à remplacer la boîte de verres d'essai. Ann. d'Ocul. CIV. S. 39.

Donberg, G., Vereinfachte Probiergläsersammlung mit einem neuen Ophthalmoskope. Sokraschjonnij nabor stökol s nowim ophthalmoskopom. Westnik ophth. VII, 4 u. 5. S. 348.

Fox, A history of spectacles. Med. and surg. Rep. XII. S. 513.

Galezowsky, De l'astigmatisme irrégulier et de sa correction par les verres coniques. (Communication à l'Académie de médecine.) Méd. moderne. No. 53. S. 644.

Galezowsky, Des verres coniques ou cylindro-coniques et de leur l'emploi dans la correction de la vision dans l'astigmatisme irrégulier. Rec. d'Opht. S. 449.

Gillet de Grandmont, Nouvelle lunette d'essai. Ann. d'Ocul. CIV. S. 236.

Heinrich, G., Untersuchung über die Wirkung schräg gestellter sphärischer Brillengläser an emmetropischen und ametropischen Augen und Vergleichung dieser Wirkung mit derjenigen cylindrischer Gläser. Inaug.-Diss. Rostock.

Leplat, L., Un instrument pour contrôler l'orientation des verres cylindriques. Arch. d'Opht. XI. S. 26.

Percival, Notes on bifocal lenses. Arch. d'Opht. XIX. S. 255.

Stoeber, Verification des verres de lunettes. Soc. de méd. de Nancy. 1888—90. 92 S.

Tilley, Lens measurer. Journ. amer. med. assoc. V. S. 597.

Wecker et Masselon, J., Sur les montures de lunettes. Un ophtalmostatomètre. Ann. d'Ocul. CIV. S. 147.

1891. Burnett, S. M., The prism-dioptry vs. the centrad. Journ. Amer. Med. Assoc. Chicago. XVII. S. 343.

Burnett, On the reform in numbering prisms. Med. News. Philadelphia. S. 487.

Burnett, Some peculiarities in the refraction by tilted lenses graphically represented. Amer. Journ. Ophth. S. 345.

Couétoux, Lunettes pour velocipédistes. Ann. d'Ocul. CVI. S. 340.

Debenedetti, Achille, La scelta degli occhiali. Milano. E. Sonzogno. 39 S.

Deschamps, A., Du choix des lunettes. Ann. de l'enseign. sup. de Grenoble. Dauphine méd. Grenoble. XV. S. 162, 184, 211.

Dimmer, Zur Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 111.

Eaton, The ill effect of coquille glasses viz. Minus refraction, water lines, astigmatic refraction. Amer. Journ. of Ophth. S. 87.

Gould, G. M., Note concerning astigmatic bifocal lenses. Arch. of Ophth. New York. XX. S. 58.

Harlan, Additional note on the use of toric lenses in astigmatisme. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. 27. meet. S. 215.

Holden, W. A., On the cylindrical equivalent of tilted lenses, the prismatic equivalent of decentred lenses, and the employment of such lenses in practice. Arch. of Ophth. XX. S. 1.

Knoepfler, L., Note relative aux formules de correction applicables aux verres de lunettes et aux lentilles, suivant leur distance de l'oeil. Rec. méd. de l'est. Nancy. XXIII. S. 136.

1891. Lippincott, J. A., Über die durch korrigierende Gläser hervorgerufene binoculare Metamorphopsie. Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 96.

Ostwald, Einige Worte über Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 283.

Percival, A., The action and use of prismatic combinations. Ophth. Rev. S. 285.

Percival, A., The action of prismo-spheres and decentred lenses. Arch. Ophth. XX, 2.

Percival, A., Notes on bifocal lenses. Arch. Ophth. XIX. S. 245.

Randall, Some disputed points in the correction of refraction errors. Journ. Amer. med. Assoc. XVI. S. 37.

Randall, Prism-dioptry vs. centrad in the reformed numeration of prisms. Med. News. Philadelphia. VIII. S. 382.

Schellbach, K., Der Weg eines Lichtstrahles durch die Linse. Zeitschr. f. phys. u. chem. Unters. IV.

Smith, The lens-measurer of the Geneva optical company. Arch. Ophth. XX. S. 131.

Smith, Prism-measurer and lens centring instrument. Arch. of Ophth. XX. S. 266.

Stevenson, D. W., Spectacles to be used in diving. Amer. Journ. of Opht. S. 4.

Thompson, D. W., On the focometry of lenses and lens combinations and a new focometer. Proc. Roy. Soc. XLIX. S. 225.

Vanni, G., Über eine neue Methode der Messung der Brennweiten von Linsen oder convergenten Systemen. Atti dell' Accad. d. nuovo Linceo. VI. 1890.

1892. Bourgeois, Lunettes à cataractes. Union méd. du Nord-Est. No. 2.

Bullard, W. L., Should not the oculist be more careful in prescribing colored glasses? Virginia med. Month. Richmond. XVIII. S. 866.

Chavannaz, Instrument pour la vérification des lentilles cylindriques, bicylindriques et sphérocylindriques. Journ. de méd. de Bordeaux. XXII. S. 203.

Clairborne, The axis of astigmatic glasses. Gaillard's med. Journ. New York. V. S. 717.

Czapski, S., Methode und Apparat zur Bestimmung von Brennweiten (Fokometer) nach Abbe. Zeitschr. f. Instrumentenk. XI. S. 446; XII. S. 185.

Dimmer, Noch einmal die Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 73.

Dor, H., Sur les verres de contact. Rev. gén. d'Opht. S. 493.

Fick, E., Einige Bemerkungen über die Kontaktbrille. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 306.

Fridenwald, H., Binocular metamorphopsia produced by correcting glasses. Arch. Ophth. New York. XI. S. 204.

Gariel, Sur un mémoire du Dr. Ostwald intitulé: recherches expérimentales sur l'influence que l'éloignement de l'oeil exerce sur la force refringente du cylindre correcteur dans les différentes formes d'astigmatisme. Bull. Acad. de Méd. Paris. XXVIII. S. 93.

Gould, The practical adjustment of spectacles. Ann. Ophth. and Otol. I. S. 8.

Harlan, Additional note on the use of toric lenses in astigmatism. Transact. Amer. Opht. Soc. 27. Meet. S. 215.

Heddaeus, Ein Probierbrillengestell. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 150.

Hirschberg, Über Prismenbezeichnung. Verhandl. d. internat. Kongr. zu Berlin.

Landesberg, P., Eigenartiger Gebrauch des Konvexglases bei excessiver Hypermetropie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 187

1892. Landesberg, P., Erwiderung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 361.
Phillips, R. J., Spectacles and eye glasses. Their forms, mounting and proper adjustment. Philadelphia, P. Blakiston Son & Co.
Reynolds, D. S., Graduation of lenses. Journ. Amer. med. Assoc. Chicago. XIX. S. 242.
Smith, A., Der Linsenmesser der »Genfer optischen Gesellschaft«. Arch. f. Augenheilk. XXV. S. 131.
Steiger, Über torische Gläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 227.
Sulzer, La correction optique du kératocone, de l'astigmatisme irrégulier et de l'astigmatisme cicatriciel. Ann. d'Ocul. CVII. S. 321.
Truc, Lunettes et pince-nez. Nouveau Montpellier Méd. I. S. 723.
Valude et Dubief, Les verres toriques. Verhandl. d. 10. internat. med. Kongr. Berlin. IV, 2. S. 145.
Ostwald, Recherches expérimentales sur l'influence que l'éloignement de l'oeil exerce sur la force réfringente du cylndre correcteur dans les différentes formes d'astigmatisme. Arch. d'Opht. XIII. S. 543.
1893. Bitzos, Un nouveau phacomètre pratique à faire. Ann. d'Ocul. CIX. S. 187.
Bordier, Études sur les images rétiniennes des amétropes. Ann. d'Ocul. CX. S. 200.
Doijer, D., Glazen mit dubbelen brandpunts-afstand. Geneesk. Courant. XVIII. No. 19.
Fridenwald, Über die durch korrigierende Gläser hervorgerufene binoculare Metamorphopsie. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 362.
Graefe, A., Haben wir durch Einführung der Rechnung mit Dioptrien etwas gewonnen? Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 429.
Heddaeus, Probierbrille. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 28.
Jackson, E., The rod test with the rotary variable prism. Ophth. Rev. S. 228.
Jackson, E., The crossed cylinder. Ophth. Rev. Nashville. II. S. 464.
Jackson, E., Method in the use of test lenses. Ann. Ophth. and Otol. St. Louis. S. 193.
Jacobsohn, E., Welche Brille soll ich wählen? Nach einem Vortrag. Berlin, Rockenstein.
Mathieu, Des verres coquilles. Rec. d'Opht. S. 130.
Pflüger, E., Tori und Doppelfocusgläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 1.
Reynolds, C. L., A unit of measure of refraction. Journ. Ophth., Otol. and Laryng. New York. V. S. 103.
Romano, Sui vetri tori. Arch. di Ottalm. I.
Roth, Über eine neue stenopäische Brille Siebbrille). Arch. f. Augenheilk. XXVII. S. 110.
Steiger und Zehender, Zur Benennung torisch geschliffener Brillengläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 103.
Talko, Zur Geschichte der Brillen in Russland. — Die Brillen der Patriarchen. K istorii otschkow w Rossii. Westnik Opht. S. 89 u. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 217.
Würdemann, H. W., Notes on bifocal spectacles in aphakia. Journ. Amer. med. Assoc. Chicago. XXI. S. 658.
1894. Aubert, Verres de lunettes. Lyon méd. 2. Dec.
Berry, Bemerkungen über den Brennpunkt der konkav-konvexen Linsen, deren Oberflächen von gleicher Krümmung sind. Proc. Roy. Soc. Edinburg. XX. S. 192.
Bordier, H., A propos de la lentille équivalente à deux lentilles minces; demonstration expérimentale. Gaz. hebd. des sc. méd. de Bordeaux. XV. S. 303.
Bordier, H., Modifications de la grandeur des images rétiniennes par les verres correcteurs dans les différentes amétropies. Arch. d'Opht. S. 279.
Bourgeois, Lunettes pour opérés de cataracte. Rec. d'Opht. S. 396.

1894. Burnstead, S. J., A new centring instrument. Arch. Ophth. XXIII. S. 88.
Burnett, S. M., The new dioptral system of measuring and designating prisms employed in ophthalmic practice. Refractionist. Boston. S. 113.
Dimmer, Eine Probierbrille. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 166.
Galezowsky, Lunettes doubles à verres superposés pour les opérés de cataracte et les hypermétropes. Rec. d'Opht. S. 525.
Garnier R., The choice and proper care of spectacles with practical hints as to their use. Refractionist. Boston. I. S. 49.
Hersing, Ein Taschenbrillenkasten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 21.
Lagrange, Inconvénients des verres teintés. France méd. 1893. No. 50.
Lagrange, De l'égalité des images rétiniennes dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie. Ann. d'Ocul. CXI. S. 279.
Weiland, Note to the article »refractive value of any two cylinders« etc. in the October number 1893 of these Archives. Arch. Ophth. XXIII. S. 28.

1895. Antonelli, La correzione ottica degli operati di cataratta. As. post-operatorio, nuova scatola di lenti per l'esame degli afachici.) Ann. di Ottalm. XXIV. S. 467.
Van Genderen Stort, Over gekleurde glazen. Ooghelkundige Verslagen en bijbladen van het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. Utrecht.
Green, J., Note on the variations in the power and in the astigmatisme of spherical, toric and cylindrical lenses in principal cases of oblique centrical refraction. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-first ann. meet. New London. S. 329.
Gradenigo, D'un occhiale di accommodazione automatica. Atti del R. Istit. Veneto. 6. Ser. VII.
Guilloz, De l'égalité de grandeur des images rétiniennes dans l'emmétropie et dans les cas d'amétropie corrigée. Arch. d'Opht. XV. S. 633.
Hensen, Über die lineare Form der stenopäischen Brille. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 3. S. 258.
Javal, Nouvelles applications des verres toriques à la correction de certaines formes d'astigmatisme irrégulier. Rev. gén. d'Opht. S. 277.
Burnstead, Ein neues Instrument zur Centrierung von Linsen. Arch. f. Augenheilk. XXX. S. 67.
Katz, Zur Frage über die Arbeitsbrillen. K woprosu o rabolschich otschkach.) Westnik Ophth. XII, 3. S. 301 u. Arch. d'Opht. XV. S. 641.
Prentice, Ch. F., On the practical execution of ophthalmic prescriptions involving prisms. Amer. Journ. of Ophth. S. 1 u. Ann. of Ophth. and Otol. St. Louis. IV. S. 1.
Prentice, Ch. F., Explication du fait que les lentilles contraires fortes de force égale ne se neutralisent pas complètement. Ann. d'Ocul. CXIV. S. 378.
Prentice, Ch. F., The sphero-toric lens in astigmatic aphakia. Ophth. Rec. Nashville. IV. S. 260.
Prentice, Ch. F., A problem in cemented bifocal lenses solved by the prism diopter. Ann. of Ophth. an Otol. St. Louis. IV. S. 20.
Tilley, On crossed cylinders. Amer. Journ. of Ophth. S. 74.

1896. Albertotti, Ricerche intorno agli occhiali. Estratto dal verbale di seduta dell' Accademia di Scienze, Lettere ed Arti di Modena del 3 Giugno 1896.) Ann. di Ottalm. XXV. S. 454.
Bagneris, E., Mesure rapide du pouvoir dioptrique des lentilles. Ann. d'Ocul. CXV. S. 273.
Bourgeois, Lunettes à verres superposés pour myopes et pour hypermétropes. Rec. d'Opht. S. 477.
Galezowski, Verres dits isométropes. Rec. d'Opht. S. 301.
Gullstrand, Eine Brillenordination mit den jetzigen Hilfsmitteln. Upsala läkareförenings förhdl. 19. Nov. Schwedisch.

1896. Heilborn, Fr., Über eine neue Arbeitsbrille für hochgradige Myopie. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. März. S. 77.

Lawrentjew, A., Über die Anwendung pantoskopischer (Halb-) Brillen, hauptsächlich für die Schüler der Elementar- und Mittelschulen. Sitzungsber. d. Moskauer ophth. Ver. Westnik Ophth. XIII, 3. S. 300.

Oliver, An improved form of trial frame. Ann. of Ophth. and Otol. Oct.

Ovio, Interprétation de la loi relative au rapport de la grandeur entre les images nettes et les images diffuses. Rev. Gén. d'Opht. S. 534.

Pergens, Le choix des verres de couleur en oculistique. Soc. Belge d'Opht. Séance du 20 déc. Ref. Ann. d'Ocul. CXVII. S. 59.

Pergens, La numérotation rationelle de verres teintés en oculistique. Journ. Méd. de Bruxelles. No. 32.

Ribbing, S. G. L., Eine Brilleneinfassung bei Bestimmung der Refraktion und Sehschärfe. Hygiea u. Rapport d. Augenklinik d. Serafimerlazareths. Schwedisch. S. 125.

Risley, Defective coquille glasses a frequent cause of additional irritation to weak and inflamed eyes. Amer. Journ. of Ophth. S. 324.

Romiée, De l'emploi des verres colorés ou fumés. Clin. Opht. No. 11.

Southard, An improved bifocal lens. Ann. of Ophth. and Otol. V, 4. S. 958.

Thorington, A new form of perimetric lenses. Amer. Journ. of Ophth. S. 106.

Williams, C. H., Instrument to measure position of axis of cylindrical lenses Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-second Ann. Meet. S. 697.

1897. Borsch, Monture et centrage de lunettes. Ann. d'Ocul. XCVII. S 369.

Culver, C. M., The desirability of a periscopic quality in correcting lenses. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-third Ann. Meet. S. 119.

Fick, A. E., Hydrodiaskop und Kontaktglas. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIII. S. 129.

Fortunati, Le lenti isometropi. Bull. R. Accad. di Roma. XXIII. S. 177.

Jensen, Edm., Die isometropen Brillengläser. Ugeskr. f. Läger. S. 1239. (Dänisch.)

Lohnstein, Th., Kritische Bemerkungen zu den hyperbolischen Gläsern. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 97.

Lohnstein, Die Berechnung der Plankonvexlinse des Hydrodiaskops. Klin Monatsbl. f. Augenheilk. S. 266.

Monoyer, Dr., Mesure et correction de la presbytie; extension des formules des lunettes à toutes les anomalies de la réfraction. Arch. d'Opht. XVII. S. 721.

Snellen, Die Behandlung des Keratoconus. Arch. f. Ophth. XLIV, 1. S. 105.

Javal, Verres isométropes. Acad. de Méd. 10. Aug.

Pergens, Action de la lumière sur la rétine.

1898. Chacón, A., Efecto presmático producido por la descentración de las lentes esféricas. Añ. de Oftalm. Oct.

Javal, La prescription des verres doit tenir compte des variations, soit favorables, soit défavorables que peut subir la réfraction sous l'influence des verres correcteurs. XII. Congr. internat. Sect. XI. Opht. S. 330.

Krüss, H., Über die Eigenschaften der Isometropegläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 147.

Lohnstein, Nochmals die hyperbolischen Gläser. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 208.

Ostwalt, Über periskopische Gläser. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLVI. S. 475.

Ostwalt, Des verres periscopiques. Acad. des Sc. 16. Mai.

Ostwalt, Réponse à M. le Professeur Monoyer à propos de son travail: »Mesure et correction de la presbytie« etc. avec la contre-réponse du Dr. Monoyer. Arch. d'Opht. XVIII. S. 265.

1898. Ovio, Sugli occhiali colorati. Ann. di Ottalm. XXVII. S. 317.

Raehlmann, E., Über die Anwendung der hyperbolischen Linsen bei Keratoconus und regelmäßigem Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 33.

Snellen, Die Behandlung des Keratoconus. Arch. f. Ophth. XLIV, 1. S. 105.

Triepel, H., Über Decentrieren bisphärischer Linsen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLVI. S. 384.

Wolffberg, Eine sehr beachtenswerte Eigenschaft der Isometropebrillen. Wochenschr. f. Therapie u. Hygiene d. Auges. II.

1899. Borsch, Un verre bifocal nouveau. Ann. d'Ocul. CXXI.

Bourgon, Les nouveaux verres d'optique. Les verres isométropes etc. Paris.

Landolt, Reform der Numerierung prismatischer Gläser. 9. internat. Kongr. Utrecht.

Ostwald, Experimentelle Untersuchungen über periskopische Gläser. 9. internat. Kongr. Utrecht.

Pihl, Über isometrope Gläser. Hygiea. I. S. 479.

Triepel. Weitere Mitteilungen über Decentration bisphärischer Linsen. Arch. f. Ophth. LXVIII, 2. S. 432.

van Genderen Stort, De anatomie der teleneuronen in verband met de pigmentcellenlaag in het netvlies van visschen en de door het licht daarin te voorschijn geroepen veranderingen. Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. I. S. 696.

Abschnitt VI.

Emmetropie und Ametropie.

§ 74. Als emmetropisch bezeichnen wir ein Auge, das im Ruhezustande auf unendliche Entfernung eingestellt ist. In der Gleichung $B = A + D$ (Formel 11, § 6) ist dann $A = 0$; wir können daher die Gleichung $B = D$ als die Bedingung für Emmetropie bezeichnen. Ametropisch ist jedes Auge, für welches $B \lesseqgtr D$ ist.

Unter D verstehen wir hier die in Dioptrien ausgedrückte Brechkraft des optischen Systems bei Akkommodationsruhe, unter B die reduzierte Convergenz des auf der Netzhaut vereinigten Strahlenbündels.

Die Gleichung $B = D$ zeigt, dass für Emmetropie der Brechwert D des Auges nicht eine absolute Größe haben muss, denn dieser Gleichung kann für sehr verschiedene Werte von D genügt sein, wenn B einen entsprechenden Wert hat: Emmetropische Refraktion kann bei verschiedener Brechkraft der Hornhaut oder Linse vorhanden sein, wenn nur die Achsenlänge des Auges eine entsprechende ist; für Emmetropie maßgebend ist nur das richtige Verhältnis zwischen Achsenlänge und Brechwert des Auges.

So ist z. B. im reduzierten Auge $B = D$, also Emmetropie vorhanden

für $D = 60$ Dioptrien und eine Achsenlänge $= 22,2$ mm
» $D = 63$ » » $= 21,16$ »
» $D = 66$ » » $= 20$ »

Bei normalen Augen schwankt die Größe des Hornhautradius zwischen 7 und 8,5 mm. Wenn trotzdem emmetropische oder angenähert emmetropische Refraktion besteht, so ist dies wohl in erster Linie auf Schwankungen in der Länge der Augenachse zu beziehen, so zwar, dass im allgemeinen einem kleineren Radius eine kürzere Achse, einem größeren eine längere Achse zugehört, was ungefähr einem in toto etwas kleineren bezw. größeren Auge entsprechen dürfte: ceteris paribus müsste ja einer Differenz des Hornhautradius um 1,5 mm eine Refraktionsdifferenz von ca. 9 Dioptrien entsprechen, denn $D_1 - D_2 = \frac{(n - 1) \cdot 1,5}{8,5 \cdot 7,0} = 9,2$ Dioptrien. Selbstverständlich ist auf den Wert von D nicht allein der Hornhautradius von Einfluss; dieser Wert wird auch durch die Radien und den Index der Linse, die Indices der übrigen brechenden Medien und durch den Abstand der Linse von der Hornhaut beeinflusst. Da aber von der Gesamtbrechkraft des Auges $^2/_3$ auf die Hornhaut entfallen, so müssen Änderungen ihres Radius entsprechend größere Änderungen der Gesamtbrechkraft hervorrufen, als z. B. gleich große Änderungen eines der Linsenradien.

§ 75. Ametropie kann theoretisch in folgenden Formen auftreten:

1. D normal, $B \gtrless D$: bei unveränderter Brechkraft hat die Achsenlänge des Auges abnorme Werte. Diese Formen werden unter dem Namen der Achsenametropien zusammengefasst. Sie stellen die weitaus häufigste Ametropieform dar.

2. B normal, $D \gtrless B$: bei normaler Achsenlänge hat die Brechkraft des optischen Systems einen abnorm hohen oder niedrigen Wert. Relativ am häufigsten sind abnorme Krümmungen der brechenden Flächen, (»Krümmungsametropien«). Zu dieser Gruppe kann auch die Ametropie durch Entfernung der Linse (Aphakie) gerechnet werden. Eine verhältnismäßig viel seltenere Ametropieform ist die Indexametropie, bedingt durch abnormen Index der brechenden Medien. Hierher gehört unter den praktisch wichtigeren Formen in erster Linie die Kurzsichtigkeit durch pathologische Erhöhung des Linsenindex (s. § 145). Bei der Akkommodation nimmt D bei unverändertem B zu. (Der Index des Glaskörpers ist hier immer als normal angenommen.)

3. Sowohl B als D haben abnorme Werte und B ist von D verschieden; diese Form kommt, wenigstens in höheren Graden, gleichfalls im allgemeinen viel seltener vor als die erste. Als Typus können die früher achsenmyopisch gewesenen aphakischen Augen gelten.

§ 76. Wir wenden uns zunächst der Achsenametropie zu.

Die in Dioptrien ausgedrückte Differenz $B - D$ wird als der Refraktionszustand oder kurz die Refraktion des Auges bezeichnet, die also von dessen Brechkraft wohl zu unterscheiden ist. Ist die Differenz $B - D = 0$, so besteht emmetropische Refraktion.

Wenn $B - D < 0$, also $B < D$ ist, so ergiebt sich für A ein negativer Wert, d. h. dem (in der Netzhautebene gelegenen) Punkte b ist bei entspannter Akkommodation ein Objektpunkt konjugiert, welcher in dem endlichen Abstande a vor dem Auge (d. h. der Lichtrichtung entgegen gelegen ist: **Myopische Refraktion.**

Wenn $B - D > 0$, also $B > D$ ist, so ergiebt sich für A ein positiver Wert, der entsprechende Objektpunkt liegt also in endlicher Entfernung hinter dem Auge: **Hypermetropische Refraktion.**

Der Punkt, auf welchen das Auge im Ruhezustande eingestellt ist, heißt der Fernpunkt; aus dem vorhergehenden folgt also, dass bei Kurzsichtigkeit die (in Dioptrien ausgedrückte) Brechkraft des Auges größer ist, als die reduzierte Convergenz des in der Netzhautebene vereinigten gebrochenen Strahlenbündels; der Fernpunkt liegt in endlicher Entfernung vor dem Auge. Bei Übersichtigkeit ist die Brechkraft des ruhenden Auges kleiner als die reduzierte Convergenz des in der Netzhaut zur Vereinigung kommenden Strahlenbündels; der Fernpunkt liegt in endlicher Entfernung hinter dem Auge.

Für die Beziehungen zwischen Achsenlänge und Refraktion ergiebt die Gleichung $B = A + D$, dass einer Achsenverlängerung bezw. Verkürzung des reduzierten Auges um 1 mm eine Refraktionserhöhung bezw. -Verminderung um nahezu 3 Dioptrien entspricht. In nebenstehenden Tabellen sind die Werte für verschiedene Grade von Kurzsichtigkeit und Übersichtigkeit angegeben, und zwar in Tabelle I für das reduzierte, in Tabelle II für ein schematisches Auge.

Tabelle I (reduziertes Auge; $n = 1{,}33$. $b = 20$. $D = 66{,}66$).

Achsenmyopie.

Achsenlänge in mm	B	A = Ametropie in Dioptrien
20	66,66	0
21	63,34	— 3,32
22	60,46	— 6,20
23	57,83	— 8,83
24	55,42	— 11,24
26	51,16	— 15,50
28	47,50	— 19,16
30	44,34	— 22,32
32	41,57	— 25,09.

Achsenhypermetropie.

Achsenlänge in mm	B	A = Ametropie in Dioptrien
20	66,66	0
19	70,00	+ 3,34
18	73,89	+ 7,23
17	78,25	+ 11,59
16	83,13	+ 16,47
15	88,67	+ 22,01.

Tabelle II. (schematisches Auge).

Für ein Auge mit den Konstanten Stadfeldt's ist $D = 62,7$; im emmetropischen Auge ist $b = 21,30$ und da der Ort des zweiten Hauptpunktes $= 2,156$, so beträgt die Achsenlänge $= 23,46$ mm. Man erhält ($n = 1,3365$):

Achsenlänge in mm	$B = \frac{n}{b}$ (in Dioptrien)	Hauptpunktsametropie (in Dioptrien)
18,46	81,96	+ 19,26
19,46	77,24	+ 14,53
20,46	73,01	+ 10,31
21,46	69,23	+ 6,53
22,46	65,82	+ 3,12
23,46	62,7	0
24,46	59,93	— 2,77
25,46	57,36	— 5,34
26,46	54,99	— 7,71
27,46	52,82	— 9,88
28,46	50,82	— 11,88
29,46	48,95	— 13,75
30,46	47,23	— 15,47
32,46	44,12	— 18,58
34,46	41,38	21,32
36,46	38,94	— 23,76.

Für ein Auge mit den Konstanten Treutler's (s. o.), das bei emmetropischer Refraktion eine Achsenlänge von 23,845 mm hat, würden sich u. a. folgende Werte ergeben:

einer Achsenlänge von	entspricht eine Hauptpunktsametropie von (in Dioptrien
20,845 mm	+ 9,576
22,845	+ 2,887
23,845	0
24,845	— 2,638
26,845	— 7,281
30,845	— 14,614.

§ 77. Für die Krümmungsametropie lassen sich die Beziehungen zwischen Krümmungsradius und Brechkraft des reduzierten Auges auf folgende Weise ermitteln: Sind D und r Brechkraft bezw. Krümmungsradius des emmetropischen, D_1 und r_1 die entsprechenden Werte des krümmungs-

ametropischen Auges, so ist: $D = \frac{n_{\prime\prime} - n_{\prime}}{r}$; $D_{\prime} = \frac{n_{\prime\prime} - n_{\prime}}{r_{\prime}}$, also $\frac{D}{D_{\prime}} = \frac{r_{\prime}}{r}$ und $D_{\prime} = D\frac{r}{r_{\prime}}$; da im emmetropischen Auge $D = 66,6$ und $r = 0,005$ ist $\left(D = \frac{1}{3r}\right)$, so ist $D_{\prime} = \frac{0,33}{r_{\prime}}$, daher $F_{\prime}' = \frac{1}{D_{\prime}} = 3r_{\prime}$, d. h. die vordere Brennweite ist gleich dem 3fachen Radius des reduzierten Auges.

Nach diesen Formeln sind die folgenden Werte für die Beziehungen zwischen Krümmungsradius und Ametropiegrad des reduzierten Auges berechnet.

$r_{\prime}$ in mm	D (in Dioptrien)	A Ametropiegrad
3,6	91,66	— 25
3,8	86,83	— 19,2
4,0	82,49	— 15,8
4,2	78,57	11,9
4,4	75,00	— 8,34
4,6	71,73	— 5,07
4,8	68,75	— 2,19
5,0	66,66	0
5,2	63,46	+ 3,2
5,4	61,05	+ 5,6
5,6	58,92	+ 7,74
5,8	56,64	+ 10,02
6,0	55,00	+ 11,66
6,2	53,22	+ 13,43
6,4	51,56	+ 15,16
6,6	50,00	+ 16,66
6,8	48,53	+ 18,13
7,0	47,14	+ 19,52
7,2	45,84	+ 20,82
7,4	44,60	+ 22,06.

Eine Verkleinerung des Krümmungsradius des *reduzierten* Auges um 1 mm bedingt also eine Myopie von fast 16 Dioptrien; eine Vergrößerung um 1 mm bedingt eine Hypermetropie von ca. 11,66 Dioptrien.

Andererseits lässt sich nach dem Gesagten leicht aus dem Ametropiegrade der zugehörige Radius des reduzierten Auges berechnen. Die Ametropie A ist hier gleich der Differenz der Brechkräfte des krümmungsametropischen und des normalen Auges:

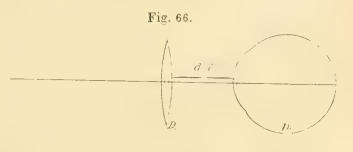
$$A = D_{\prime} - D = \frac{0,33}{r_{\prime}} - D;\ \text{daher}\ r_{\prime} = \frac{0,33}{A + D}\ \text{und}\ F_{\prime} = 3r_{\prime} = \frac{1}{A + D}.$$

Bezieht man die Ametropie auf die **Brennpunkte** statt auf die Hauptpunkte, so lassen sich die Beziehungen zwischen Achsenlänge und Ametropiegrad in sehr einfacher Weise mit Hilfe der NEWTON'schen Formel $l_{,} l_{,,} = \varphi_{,} \varphi_{,,}$ feststellen. Für das reduzierte Auge ist $\varphi_{,} \varphi_{,,} = 15 \cdot 20 = 300$, also $l_{,,} = \frac{300}{l_{,}}$ und die (in Dioptrien ausgedrückte) Brennpunktsametropie $A_{,} = \frac{1000}{l_{,}} = \frac{10}{3} l_{,,}$. Bei auf die Brennpunkte bezogener Ametropie entspricht einer Achsenveränderung um 1 mm eine Refraktionsänderung im Betrage von ca. 3 Dioptrien. Für das HELMHOLTZ'sche schematische Auge ist $\varphi_{,} \varphi_{,,} = 15,498 \cdot 20,718 = 321$ mm, für das STADFELDT'sche $= 339$ mm.

Der Wert für $l_{,,}$ giebt die Verlängerung des Auges bei dem betreffenden Achsenametropiegrade an. Das Korrektionsglas für diese Ametropie befindet sich im allgemeinen angenähert im vorderen Brennpunkte des Auges und giebt also auch die Brennpunktsametropie an. Somit ist die Achsenverlängerung bezw. -Verkürzung bei **reiner** Achsenametropie direkt proportional der Stärke des im vorderen Brennpunkte befindlichen, die Ametropie vollständig korrigierenden Glases.

§ 78. Die Kombination des aus Auge und Brille zusammengesetzten Systems und die Ermittelung seiner Hauptpunkte erfolgt nach den früher gegebenen Formeln für ein beliebiges zusammengesetztes optisches System.

Fig. 66.



Ist $D_{,}$ die Brechkraft des vorgesetzten Brillenglases, $D_{,,}$ die des Auges, und liegt der zweite Hauptpunkt der Brille um $d = \delta$ vor dem ersten Hauptpunkte des Auges, so ist die Brechkraft der Kombination $D_{12} = D_{,} + D_{,,} - \delta D_{,} D_{,,}$.

Für viele ophthalmologische Untersuchungen genügt es, die Messung nicht vom zweiten Hauptpunkte der Brille, sondern von deren optischem Mittelpunkte vorzunehmen. Die Messung ist leicht auszuführen, indem man dessen Abstand vom Hornhautscheitel misst und dazu 2 mm (genauer 1,7 mm) addiert.

Könnte man das Brillenglas so dicht an das Auge heranbringen, dass d und also auch $\delta = 0$ wäre, so würde $D_{12} = D_{,} + D_{,,}$, die Brechkraft der Kombination wäre gleich der Summe der Brechkräfte von Glas und Auge; dies ist im allgemeinen aber nicht der Fall.

Von besonderem Interesse ist zunächst der Fall, dass $D_{12} = D_{,,}$, d. h. die Brechkraft der Kombination gleich der des Auges selbst ist. Dies tritt ein, wenn $D_{,} - \delta D_{,} D_{,,} = 0$, also $\delta = \frac{1}{D_{,,}}$ ist; sind $\varphi_{,}$ und $\varphi_{,,}$ die beiden

Brennweiten des Auges, so ist $D_{\prime\prime} = \frac{1}{\varphi_\prime}$, also, bei obiger Voraussetzung, $d = \delta = \frac{1}{D_{\prime\prime}} = \varphi_\prime$. Für die Lage der Hauptpunkte ergiebt sich unter dieser Voraussetzung: $H'_{12} = \frac{\delta D_{\prime\prime}}{D_{12}} = \frac{1}{D_{\prime\prime}} = \varphi_\prime = h'_{12}$ und $H''_{12} = -\delta \frac{D_\prime}{D_{12}} = -\frac{D_\prime}{D_{\prime\prime}^2} = -\frac{\varphi_\prime^2}{f} = -\frac{\varphi_\prime \varphi_{\prime\prime}}{nf}$ (da $\varphi_{\prime\prime} = n\varphi_\prime$ und $D_\prime = \frac{1}{f}$ ist, wenn f die Brennweite des vorgesetzten Glases bedeutet). Aus dem Werte H''_{12} für die reduzierte Hauptpunktslage ergiebt sich die nicht reduzierte Verschiebung des zweiten Hauptpunktes (unter Berücksichtigung, dass $h''_{12} = nH''_{12}$ ist): $h''_{12} = -\frac{\varphi_\prime \varphi_{\prime\prime}}{f}$.

Diese Gleichungen besagen folgendes:

Wird ein Korrektionsglas so vor dem Auge aufgestellt, dass sein zweiter Hauptpunkt mit dem vorderen Brennpunkte des Auges zusammenfällt, so hat das kombinierte System gleiche Brechkraft und Brennweiten, wie das Auge; der vordere Hauptpunkt der Kombination liegt um $\varphi_\prime$ hinter dem ersten Hauptpunkte des Glases, also um das Hauptpunktsinterstitium des Glases vor dem ersten Hauptpunkte des Auges. Wenn dieses Interstitium als verschwindend klein angesehen werden kann, (was im allgemeinen wenigstens für die meisten praktischen Zwecke der Fall ist), so fällt der erste Hauptpunkt des kombinierten Systems mit dem ersten Hauptpunkte des Auges zusammen. Der zweite Hauptpunkt rückt um $nd \frac{D_\prime}{D_{12}} = \frac{\varphi_\prime \varphi_{\prime\prime}}{f}$ nach vorn, wenn $D_\prime$ positiv ist (Konvexglas), dagegen um ebensoviel nach hinten, wenn $D_\prime$ negativ ist (Konkavglas). Ebenso fällt unter obiger Voraussetzung der vordere Brenn- bezw. Knotenpunkt mit den bezüglichen Punkten des Auges zusammen, während der hintere Brenn- bezw. Knotenpunkt gleichfalls um den Betrag $nd \frac{D_\prime}{D_{12}}$ verschoben wird.

Aus dem vorstehenden ergiebt sich der Satz von Knapp und Giraud-Teulon: Befindet sich ein Korrektionsglas, dessen Dicke vernachlässigt werden kann, im vorderen Brennpunkte des Auges, so sind die Brennweiten des kombinierten Systems gleich denjenigen des unbewaffneten Auges und die vorderen Kardinalpunkte des zusammengesetzten Systems fallen mit denjenigen des unbewaffneten Auges zusammen. Die hinteren Kardinalpunkte des kombinierten Systems werden um gleich große Strecken verschoben; der Betrag der Verschiebung ist gleich dem Produkte der beiden Brennweiten des Auges, dividiert durch die Brennweite der Korrektionslinse. Die Verschiebung erfolgt bei Koankvgläsern nach hinten, bei Konvexgläsern nach vorn.

Unter Benutzung der reduzierten Abstände ergiebt sich, dass die reduzierte Hauptpunktslage gefunden wird, indem man die in Dioptrien ausgedrückte Brechkraft des Glases durch das Quadrat der Brechkraft des Auges dividiert. Wird z. B. im vorderen Brennpunkte des reduzierten Auges ein Glas von 1 Dioptrie aufgestellt, so ist $H''_{12} = \frac{1}{(66,66)^2} = 0,225$ mm, daher $h''_{12} = n\,H''_{12} = 0,3$ mm, d. h. durch Vorsetzen eines Glases von 1 Dioptrie wird der hintere Hauptpunkt im reduzierten Auge um 0,3 mm (im schematischen Helmholtz'schen Auge um 0,321 mm) verschoben.

Wenn sich das Brillenglas nicht im vorderen Brennpunkte des Auges befindet, so ist die Brechkraft der Kombination von jener des Auges verschieden. Ist der Abstand des Glases vom Auge kleiner als der Brennpunktsabstand, so ergiebt sich für ein Konvexglas $D_{,} - \delta\, D_{,} D_{,,} > 0$, also $D_{12} > D_{,,}$, die Brechkraft der Kombination ist größer als die des Auges. Für ein Konkavglas dagegen folgt, daß die Brechkraft der Kombination kleiner wird, wenn das Glas sich der Hornhaut nähert. Das Umgekehrte gilt, wenn das Glas über den vorderen Brennpunkt hinaus vom Auge entfernt wird.

Für die Lage der Hauptpunkte ergiebt sich aus den Gleichungen für H'_{12} und H''_{12}:

Ist das Konvexglas dem Auge näher als der vordere Brennpunkt, so hat h'_{12} einen kleineren Wert als δ; der vordere Hauptpunkt des kombinierten Systems liegt ein wenig vor dem ersten Hauptpunkte des Auges.

Auch $-h''_{12}$ wird kleiner, d. h. auch der hintere Hauptpunkt liegt zwar noch vor dem zweiten Hauptpunkte des Auges, aber um weniger, als dem Werte $n \frac{D_{,}}{D_{,,}^2} = \frac{\varphi_{,} \varphi_{,,}}{f}$ entspricht.

Wird das Konvexglas über den Brennpunktsabstand vom Auge entfernt, so rückt der vordere Hauptpunkt des kombinierten Systems hinter den vorderen Hauptpunkt des Auges (in dem Ausdrucke $H'_{12} = \frac{\delta\, D_{,,}}{D_{,} + D_{,,} - \delta\, D_{,} D_{,,}}$ wird gleichzeitig der Zähler größer und der Nenner kleiner). Ebenso wird der Wert für $-h''_{12}$ größer, woraus folgt, dass der hintere Hauptpunkt noch weiter nach vorn rückt.

Wird ein Konkavglas über den Brennpunktsabstand genähert, so wird in dem Ausdrucke für H'_{12} zugleich Zähler und Nenner vergrößert; doch überwiegt die Vergrößerung des Zählers; der erste Hauptpunkt des kombinierten Systems wird ein wenig nach hinten verschoben.

Auch der zweite Hauptpunkt liegt ein wenig hinter dem zweiten Hauptpunkte des Auges.

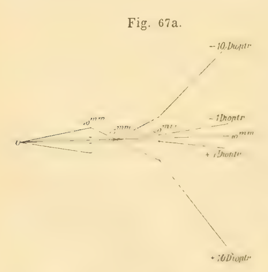
Wird das Konkavglas über den Brennpunktsabstand hinaus vom Auge entfernt, so rückt der vordere Hauptpunkt nach vorn, der hintere Hauptpunkt stärker nach hinten; die Verschiebung ist größer, als dem Werte $n\frac{D_{,}}{D_{,,}^{2}}$ entspricht.

Diese etwas verwickelt scheinenden Beziehungen zwischen Glasabstand und Lage der Hauptpunkte werden übersichtlicher durch eine graphische Darstellung, die ich in Fig. 67a und b für Gläser von ± 1 und ± 10 Dioptrien verzeichnet habe. Den Kurven sind folgende Werte zu Grunde gelegt, die NAGEL für verschiedene Abstände der fraglichen Gläser berechnet hat (Positives Vorzeichen bedeutet Verschiebung nach hinten, negatives solche nach vorn):

	mm	$h_{,}$	$h_{,,}$		mm	$h_{,}$	$h_{,,}$
+ 1,0 D	10	— 0,049	— 0,199	+ 10,0 D	10	— 0,48	— 1,90
	15	0	— 0,3		15	0	— 3
	20	+ 0,1	— 0,4		20	+ 1,05	— 4,21
	30	+ 0,45	— 0,609		30	+ 5,29	— 7,05
— 1,0 D	10	+ 0,05	+ 0,2	— 10,0 D	10	+ 0,52	+ 2,10
	15	0	+ 0,3		15	0	+ 3
	20	— 0,099	+ 0,39		20	— 0,96	+ 3,8
	30	— 0,44	+ 0,59		30	— 3,91	+ 5,21

Wenn man in einem Coordinatensystem die Abstände des Glases vom ersten Hauptpunkte des Auges als Abscissen einträgt, die zugehörigen Abstände des vorderen Hauptpunktes des kombinierten Systems von jenem des Auges als Ordinaten, so erhält man Kurven, die für jedes Glas eine etwas andere Form, im allgemeinen für Konvexgläser den Charakter nach unten konkaver Kurven, für Konkavgläser jenen nach oben konkaver Kurven zeigen; je stärker das Glas, desto stärker die Konkavität der Kurven. Beide Kurven kreuzen sich in dem Punkte der Achse, der einem Abstande von 15 mm entspricht, was eben besagt, dass in diesem Falle der erste Hauptpunkt der Kombination mit dem ersten Hauptpunkte des Auges zusammenfällt.

Fig. 67a.

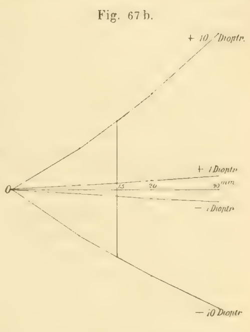


Wenn man in entsprechender Weise die Verschiebung des zweiten Hauptpunktes des kombinierten Systems bei Vorsetzen von Gläsern graphisch verzeichnet, so erhält man Kurven vom Charakter der in Fig. 67b wiedergegebenen. Die Verschiebung bei zunehmendem Abstande eines Konvexglases vom Auge wird im allgemeinen durch Kurven dargestellt, die ihre Konvexität der Achse zukehren, jene bei zunehmendem Abstande eines Konkavglases durch Kurven, die ihre Konkavität der Achse zukehren und die auf der entgegengesetzten Seite der

Abscissenachse liegen wie jene. (Die Ordinaten der einzelnen Kurvenpunkte entsprechen den Abständen des zweiten Hauptpunktes der Kombination von jenem des Auges.)

In dem Punkte der Achse, der einem Abstande von 15 mm entspricht, sind die zugehörigen Kurvenpunkte gleichweit von der Achse entfernt. Aus den Kurven geht auch schon hervor, dass Konvexgläser in allen Abständen eine Verschiebung des zweiten Hauptpunktes nach vorn, Konkavgläser stets eine solche nach hinten bedingen.

Fig. 67 b.



Bei Bestimmung der Ametropie messen wir den Abstand des Fernpunktes von dem ersten Hauptpunkte des Auges. Der so (durch Division des in Centimetern gemessenen Abstandes in 100) ermittelte Wert bezeichnet den Ametropiegrad. Aus dem vorstehenden ergiebt sich, dass er mit der Brechkraft des zur Korrektion nötigen Glases übereinstimmen würde, wenn wir dieses dem Auge soweit nähern könnten, dass sein zweiter Hauptpunkt mit dem ersten des Auges zusammenfiele; da dies nicht der Fall ist, so entspricht die Brechkraft des Korrektionsglases nicht dem auf den vorderen Hauptpunkt bezogenen Ametropiegrade: bei Myopie ist sie größer, bei Hypermetropie kleiner als dieser; der Unterschied ist um so größer, je größer der Abstand des Glases vom Auge und je höher der Ametropiegrad ist. Wir können den Brechwert des die Ametropie korrigierenden Glases als den Korrektionswert der Ametropie bezeichnen; er ergiebt sich für im vorderen Brennpunkte befindliche Gläser aus der im § 38 angeführten Tabelle. Würden wir die Ametropie durch den Abstand des Fernpunktes vom vorderen Brennpunkte ausdrücken, so wäre der Korrektionswert gleich dem Ametropiegrade; dieser Umstand hat u. a. Ostwald zu dem Vorschlage veranlasst, die Messung der Ametropie vom vorderen Brennpunkte aus vorzunehmen (s. o.).

§ 79. Bezüglich der Netzhautbildgrößen ergiebt sich aus der Gleichung $A\alpha = B\beta$ folgendes:

Schreibt man die Gleichung in der Form $\beta = \frac{A}{B}\alpha = \frac{A}{A+D}\alpha$, so erhält man einen von b unabhängigen Ausdruck für die Netzhautbildgrößen; die Formel besagt, dass in verschiedenen Augen mit verschiedener Achsenlänge von gleichweit entfernten und gleich großen

Objekten gleich große Netzhautbilder entworfen werden, sofern nur der brechende Apparat der gleiche ist.

Da die Brechkraft der Kombination Auge + Brille die gleiche ist, wie die des Auges allein, wenn das Korrektionsglas sich im vorderen Brennpunkte des letzteren befindet, so folgt, dass für alle Augen mit Achsenametropie die Netzhautbilder gleich weit entfernter Gegenstände gleiche Größe haben, wenn die Ametropie durch ein im vorderen Brennpunkte befindliches Glas korrigiert ist. Dieses Netzhautbild ist ebenso groß, wie das in einem unkorrigierten Auge von gleicher Brechkraft, welches auf den gleichen Abstand eingestellt ist; ist das Objekt unendlich weit entfernt, so ist das Netzhautbild in den fraglichen Fällen so groß, wie im emmetropischen Auge.

Befindet sich das korrigierende Glas nicht im vorderen Brennpunkte, so ergiebt die obige Gleichung folgendes:

Bei Korrektion durch Konvexgläser, die in kleinerem, als dem Brennpunktsabstande sich befinden, wird D größer, daher β kleiner; mit zunehmendem Abstande vom Auge nimmt D ab, wird also β größer. Das Umgekehrte hat statt bei Konkavgläsern.

Es zeigt sich also, dass das Netzhautbild eines unendlich entfernten Gegenstandes in einem kurzsichtigen Auge größer ist, als im emmetropischen, wenn das Korrektionsglas diesseits des vorderen Brennpunktes sich befindet, dagegen kleiner, wenn das Glas sich jenseits des vorderen Brennpunktes befindet. Umgekehrt ist das Netzhautbild in dem durch ein Konvexglas für die Ferne korrigierten Auge kleiner als im emmetropischen, wenn das Glas diesseits des vorderen Brennpunktes steht, dagegen größer, wenn es sich jenseits desselben befindet.

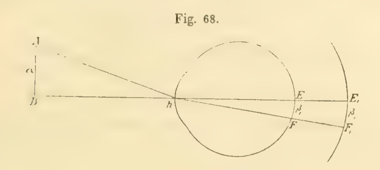
§ 80. Wir haben oben gesehen, dass die Gleichung $A\alpha = B\beta$ zunächst die Netzhautbildgröße für das unkorrigierte, akkommodationslose Auge ergiebt. Bei der Akkommodation verschiebt sich der zweite Hauptpunkt des reduzierten Auges ein kleines wenig nach hinten; diese Verschiebung ist aber so gering, dass sie den Werten der Achsenlänge des reduzierten Auges gegenüber vernachlässigt werden kann: Bei Akkommodation des emmetropischen Auges auf 13 cm Abstand, also um ca. 8 Dioptrien, beträgt sie nur 0,146 mm, d. i. 0,7% der Achsenlänge. Man kann also ohne nennenswerten Fehler die Achsenlänge des reduzierten Auges für verschiedene Akkommodationsbeträge als gleich groß ansehen.

Ist für ein nicht akkommodierendes Auge $\beta_{,} = \frac{A_{,}\alpha}{B_{,}}$, für ein anderes, akkommodierendes oder nicht akkommodierendes Auge $\beta_{,,} = \frac{A_{,,}\alpha}{B_{,,}}$, so ist $\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = \frac{A_{,}}{A_{,,}} \cdot \frac{B_{,,}}{B_{,}}$; wenn $A_{,} = A_{,,}$, also die Objektabstände in beiden Fällen

gleich sind, so ist $\frac{\beta_,}{\beta_{,,}} = \frac{B_{,,}}{B_,} = \frac{b_,}{b_{,,}}$, d. h. in Augen jeder Refraktion, die unbewaffnet auf gleiche endliche Abstände und auf gleich große Objekte eingestellt sind, verhalten sich die Netzhautbildgrößen wie die Achsenlängen der reduzierten Augen.

Diesen Satz hatte NAGEL als »sehr annähernd« richtig bezeichnet; GULLSTRAND wies seine volle Richtigkeit nach. Fig. 68 veranschaulicht denselben.

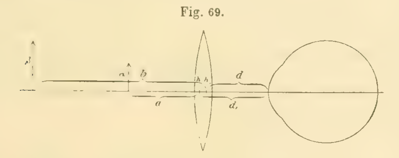
Fig. 68.



In den beiden Augen mit den Achsenlängen hE bezw. $hE_,$ verhält sich $\beta_,$ zu $\beta_{,,}$ wie hE zu $hE_,$.

§ 81. Die Veränderung der Netzhautbildgröße durch vorgesetzte Gläser lässt sich in folgender Weise berechnen.

Fig. 69.



Es sei α das Objekt, a sein Abstand vom ersten Hauptpunkte des Glases, β sein Bild, b dessen Abstand vom zweiten Hauptpunkte des Glases, (also $A = \frac{1}{a}$ und $B = \frac{1}{b}$) d und $d_,$ der Abstand des zweiten, bezw. ersten Hauptpunktes des Glases vom ersten Hauptpunkte des reduzierten Auges, D die Brechkraft des Korrektionsglases. Das Maß der Vergrößerung bezw. Verkleinerung, den »Vergrößerungskoefficienten« Q, erhält man, indem man die Netzhautbildgröße $\beta_,$ des ohne Glas gesehenen Objektes mit jener $\beta_{,,}$ des von der Linse entworfenen Bildes vergleicht. Der Objektabstand vom ersten Hauptpunkte des Auges ist $= a + d_,$, der Bildabstand $b + d$. Die reciproken Werte dieser

Abstände bezeichnen wir mit $A_{,}$ bezw. $B_{,}$ $\left(\text{also } A_{,}=\frac{1}{a+d_{,}},\ B_{,}=\frac{1}{b+d}\right)$ Es ist dann $\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}}=Q=\frac{B_{,}}{A_{,}}\cdot\frac{A}{B}$; durch Einsetzen der Werte für $A_{,}$ und $B_{,}$ und unter Berücksichtigung, dass $b=\frac{1}{B}$ und $a=\frac{1}{A}$, erhält man: $\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}}=\frac{1+d_{,}A}{1+dB}$; wenn die Dicke des Glases vernachlässigt werden kann, so ist $d=d_{,}$ und man hat:

$$Q=\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}}=\frac{1+dA}{1+dB}=\frac{1+dA}{1+d(A+D)}=\frac{1+dA}{1+dA+dD} \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

Bei Untersuchung in großem Abstande ist $A=0$, also:

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}}=\frac{1}{1+dD} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

Diese Gleichungen gestatten somit, aus dem Abstande des Objektes sowie aus dem Abstande und der Stärke des Glases das Verhältnis der Netzhautbildgrößen des mit und ohne Glas gesehenen Objektes, d. h. die Vergrößerung (bezw. Verkleinerung) zu berechnen, die in einem und demselben Auge eintritt, gleichgiltig, ob das Auge akkommodiert oder nicht (vgl. auch § 84).

Hinsichtlich der Vorzeichen ist hier und im folgenden zu berücksichtigen, dass für die von uns getroffene Wahl das Vorzeichen von d immer negativ ist und dass A für Einstellung auf endliche Entfernung vor dem Auge (myopische Refraktion) negatives, für Einstellung auf endliche Entfernung hinter dem Auge (hypermetropische Refraktion) positives Vorzeichen hat. Darnach ist der Wert dieses Bruches $\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}}$ größer als 1, wenn D positiv, dagegen kleiner als 1, wenn D negativ ist: Konvexgläser vergrößern, Konkavgläser verkleinern das Netzhautbild, die Vergrößerung nimmt zu mit der Stärke des Glases und seinem Abstande vom Auge, sowie mit dem Abstande des Objektes vom Glase.

§ 82. Wir haben früher (§ 52) gesehen, dass die Sehschärfe eines Auges ausgedrückt werden kann durch das kleinste Netzhautbild, d. h. den kleinsten Abstand zwischen zwei eben noch gesondert wahrgenommenen Netzhautbildpunkten, und zwar ist sie diesem kleinsten Netzhautbilde umgekehrt proportional. Den mit unbewaffnetem Auge ermittelten Wert für die so bestimmte Sehschärfe bezeichnen wir mit Gullstrand als natürliche Sehschärfe, (von Triepel ist dafür der Name Sehleistung vorgeschlagen worden). Bezeichnen wir diesen Wert mit S_n und die Sehschärfe des bewaffneten Auges mit S, so ist für Untersuchung in großem Abstande

$$\frac{S_n}{S}=\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}}=1+dD;\ S_n=S\,(1+dD) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

Wird der Abstand d nicht in Metern, sondern in Centimetern ausgedrückt, und dieser mit c bezeichnet $\left(\text{also } d = \frac{c}{100}\right)$, so ist $S_n = S\left(1 + \frac{c}{100} D\right)$. In Worten: Wenn man die Sehschärfe S eines Auges auf große Entfernung mittels eines in c Centimeter Entfernung vor dem ersten Hauptpunkte befindlichen Glases von D Dioptrien bestimmt hat, so erhält man die natürliche Sehschärfe S_n, indem man den gefundenen Wert um $cD\%$ vermindert, wenn ein Konvexglas benutzt worden war, dagegen um ebensoviel vermehrt, wenn ein Konkavglas benutzt war.

Ist das Auge bei der Untersuchung akkommodationslos und hat eine Ametropie von A Dioptrien, so wird, da sein Fernpunktsabstand $a = \frac{1}{D} + d$ also $D = \frac{1}{a - d}$ ist, durch Einsetzen in die frühere Gleichung $Q = \frac{S}{S_n} = 1 - dA$. Also

$$S = S_n\,(1 - dA) = S_n\left(1 - \frac{c}{100} A\right) \quad \ldots\ldots \quad (37)$$

Diese Gleichung besagt, dass bei Untersuchung des akkommodationslosen Auges in großem Abstande mit Hilfe eines c cm vor dem vorderen Hauptpunkte befindlichen Glases die natürliche Sehschärfe um $cA\%$ bei Kurzsichtigkeit vermindert, bei Übersichtigkeit vermehrt wird.

Als absolute Sehschärfe bezeichnen wir (Donders) die bei genauer Einstellung und ruhender Akkommodation an weit entfernten Sehobjekten ermittelte Sehschärfe. Wir haben oben gefunden, dass die Netzhautbilder entfernter Objekte in achsenametropischen Augen gleiche Größe haben, wie im ruhenden emmetropischen, wenn die Ametropie durch ein im vorderen Brennpunkte befindliches Glas korrigiert ist. Daraus folgt, dass mit solcher Korrektion gleichfalls die absolute Sehschärfe gefunden wird. Die Beziehungen zwischen dieser und der natürlichen Sehschärfe sind dann (da hier $c = 1{,}5$ cm ist) folgende: Man erhält die natürliche Sehschärfe aus der absoluten, indem man von letzterer für jede Dioptrie des benutzten Korrektionsglases 1,5% bei Hypermetropie abzieht, bei Myopie zu ihr zuzählt. Man erhält die absolute Sehschärfe aus der natürlichen, indem man für jede Dioptrie Ametropie 1,5% bei Hypermetropie zu ihr zuzählt, bei Myopie von ihr abzieht.

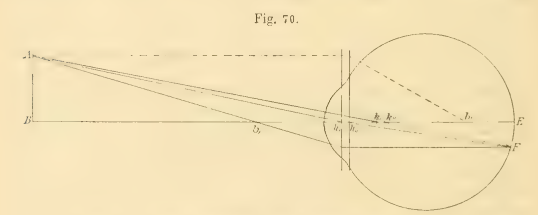
Für die Sehschärfe bei Astigmatismus folgt aus dem vorstehenden, dass die natürliche Sehschärfe in beiden Meridianen die gleiche ist, die absolute für jede Dioptrie Astigmatismus um 1,5% verschieden ist.

§ 83. Zur Feststellung der Sehschärfe wird im allgemeinen nicht von dem einer direkten Messung nicht zugänglichen kleinsten Netzhautbilde selbst ausgegangen, sondern von dem kleinsten »Distinktionswinkel«, d. h. jenem

Winkel, unter welchem zwei Objektpunkte noch eben deutlich voneinander getrennt erscheinen.

Bei den einschlägigen Berechnungen wurde früher nach dem Vorgange von DONDERS der Scheitel dieses Winkels stets in den vorderen Knotenpunkt gelegt; er ist dann identisch mit dem sog. Gesichtswinkel. GULLSTRAND hat zuerst die im folgenden kurz wiedergegebenen einfachen Beziehungen aufgedeckt, die zwischen Objekt- und Netzhautbildgröße bestehen für den Fall, dass die Abstände nicht von den Knotenpunkten, sondern von den Haupt- oder den Brennpunkten gemessen werden. Er bezeichnet die Winkel, welche die von den Endpunkten des Objektes zum Auge gezogenen Geraden einschließen, als Brennpunkts- bezw. Haupt- oder Knotenpunktswinkel, jenachdem ihr Scheitel sich im Brenn- bezw. Haupt- oder Knotenpunkte befindet.

Fig. 70.



$AB = \alpha$; $EF = \beta$; $Bh_{,} = f_{,}$; $h_{,,}E = f_{,,}$; $Bk_{,} = g_{,}$;
$k_{,,}E = g_{,,}$; $Bb_{,} = l_{,}$; $b_{,,}E = l_{,,}$.

Fig. 70 veranschaulicht die Unterschiede zwischen diesen Winkeln.

Bezeichnen α und β den linearen Durchmesser des Objektes bezw. Bildes, $g_{,}$ und $g_{,,}$ die bezüglichen Abstände von den beiden Knotenpunkten und μ den Knotenpunktswinkel, so ist $tg\,\mu = \frac{\alpha}{g_{,}} = \frac{\beta}{g_{,,}}$. Da bei der Kleinheit der in Betracht kommenden Winkel statt der Tangente der Winkel selbst gesetzt werden kann, und da die Sehschärfe diesem Winkel umgekehrt proportional ist, so haben wir $S = \frac{1}{\mu} = \frac{g_{,}}{\alpha} = \frac{g_{,,}}{\beta}$.

Für parallel einfallende Strahlen wird, da der Abstand des zweiten Knotenpunktes von dem (in die Netzhaut fallenden) hinteren Brennpunkte gleich der vorderen Brennweite ist, $g_{,,} = \varphi_{,}$, also $S = \frac{\varphi_{,}}{\beta}$.

Somit geben bei Untersuchung in großem Abstande für emmetropische und für achsenametropische Augen, die durch ein im vorderen Brennpunkte

befindliches Glas korrigiert sind, (wobei $\varphi_{\prime\prime} = \varphi_{\prime}$ bleibt), die kleinsten Knotenpunktswinkel einen Maßausdruck für die absolute Sehschärfe; dies ist aber nicht mehr der Fall z. B. bei Messung in kleineren Abständen, wo $\varphi_{\prime\prime} > \varphi_{\prime}$ wird.

Dagegen folgt aus einem von NAGEL gefundenen Satze, wie LANDOLT und GULLSTRAND hervorgehoben haben, dass auch die Sehschärfebestimmung auf endlichen Abstand ein absolutes Maß ergiebt, wenn man den Objektsabstand vom vorderen Brennpunkte misst. Wir kommen hierauf weiter unten zurück; zunächst sollen die Beziehungen zwischen Hauptpunktswinkeln und Netzhautbildgrößen erörtert werden. Hierzu gehen wir aus von der Gleichung $A\alpha = B\beta$; schreiben wir diese (vgl. §7) in der Form: $\alpha \frac{n_{\prime}}{f_{\prime}} = \beta \frac{n_{\prime\prime}}{f_{\prime\prime}}$, so ergiebt sich $\frac{\alpha}{f_{\prime}} = \frac{n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} \cdot \frac{\beta}{f_{\prime\prime}}$. Da die Verschiebung des hinteren Hauptpunktes bei der Akkommodation vernachlässigt werden darf (s. o.), so kann für alle Akkommodationsgrade $\varphi_{\prime\prime}$ statt $f_{\prime\prime}$ gesetzt werden; da $\varphi_{\prime\prime} = \frac{n_{\prime\prime}}{n_{\prime}} \varphi_{\prime}$, so erhält man: $\frac{\alpha}{f_{\prime}} = \frac{\beta}{\varphi_{\prime}}$. (Ähnliche Formeln sind nach GULLSTRAND auch von SALZMANN entwickelt worden.) Diese Gleichungen zeigen, dass der kleinste Hauptpunktswinkel $\left(\frac{\alpha}{f_{\prime}}\right)$ im emmetropischen Auge das Maß für die absolute Sehschärfe, unabhängig vom Akkommodationszustande, giebt, und dass das durch diesen Winkel ausgedrückte Maß der Sehschärfe bei allen Akkommodationsgraden das gleiche ist, solange kein Korrektionsglas angewendet wird: In einem und demselben Auge und in allen Augen mit gleicher Achsenlänge entsprechen gleich großen Hauptpunktswinkeln gleich große Netzhautbilder. Hieraus geht weiter hervor, dass die natürliche Sehschärfe direkt durch die kleinsten Hauptpunktswinkel gemessen wird, unabhängig von der Akkommodation und vom Objektabstande.

§ 84. Die von GULLSTRAND nachgewiesenen Beziehungen zwischen Hauptpunktswinkeln und Bildgrößen gestatten in einfacher Weise die vergrößernde Wirkung eines optischen Instrumentes zu berechnen; diese wird einfach durch die Vergrößerung des Hauptpunktswinkels gemessen, während die bisher gebräuchliche Messung der Vergrößerung der Gesichtswinkel (= Knotenpunktswinkel) richtige Werte nur unter der Voraussetzung giebt, dass die Akkommodation mit und ohne Glas die gleiche ist, was im allgemeinen nicht zutrifft.

Führt man in der Gleichung $Q = \frac{1 + dA}{1 + dB}$ für die Werte A und D den Abstand a des Objektes von dem vorgesetzten Glase und dessen Brenn-

weite F ein $\left(F=\frac{1}{D}\right)$, so erhält man für den Vergrößerungskoefficienten einer unendlich dünnen Linse die Formel

$$Q=\frac{1}{1+\frac{da}{F(a+d)}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (38)$$

Diese Formel entspricht derjenigen, die zuerst von PANUM und ESCHRICHT, später von NAGEL für die Knotenpunktsabstände, unter Vernachlässigung von deren akkommodativen Verschiebungen, aufgestellt worden ist. Die Formel ist aber, wie GULLSTRAND gezeigt hat, auch ohne diese Vernachlässigung richtig, wenn man die Abstände von den Hauptpunkten misst.

Wenn man in entsprechender Weise in der Gleichung $Q=\frac{1+d_, A}{1+d(A+D)}$ die bezüglichen Abstände einführt und den Abstand des Objektes vom vorderen Hauptpunkte des Auges mit $a_,$ bezeichnet, (so dass also $d_, + a = a_,$ ist) so erhält man:

$$Q=\frac{a_, F}{aF+dF+ad} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots 39)$$

Führen wir in diese Gleichung den Wert für den Abstand $b_,$ des durch die Linse entworfenen Bildes vom ersten Hauptpunkte des Auges ein, so dass $b_, = d + b$ ist, so wird

$$Q=a_, \frac{(F-b_, + d)}{Fb_,} = a_, \left[\frac{1}{b_,}\left(1+\frac{d}{F}\right)-\frac{1}{F}\right] \quad \ldots \ldots 40)$$

Die Gleichung (39) geht in die frühere (38) über, wenn die Dicke der Linse vernachlässigt, also $a_, = a + d$ wird. Die Diskussion dieser Gleichungen ergiebt folgendes:

Wenn in Gleichung (40) $a_,$ die mittlere deutliche Sehweite bezeichnet, so zeigt die Formel, dass die Vergrößerung mit derselben wächst, also ein Presbyopischer oder Hypermetropischer unter sonst gleichen Verhältnissen durch eine Lupe eine stärkere Vergrößerung erhält als ein Myopischer. Die Vergrößerung ist für Konvexgläser um so stärker, je kleiner die Brennweite; sie hängt ferner ab von dem Abstande zwischen Lupe und Objekt, sowie von jenem zwischen Lupe und Auge.

Die Formel 40 geht in die Formel $Q=-\frac{a_,}{F}$ über: 1. wenn $\frac{1}{b_,}=0$ oder 2. wenn $1+\frac{d}{F}=0$ ist.

Ersteres trifft zu bei dem emmetropischen, nicht akkommodierenden Auge, letzteres dann, wenn $d=-F$ ist, d. h. wenn der hintere Brennpunkt der Linse mit dem ersten Hauptpunkte des Auges zusammenfällt. Für das übersichtige, nicht akkommodierende Auge $\left(\frac{1}{b_,}>0\right)$ wächst die Vergrößerung mit zunehmender

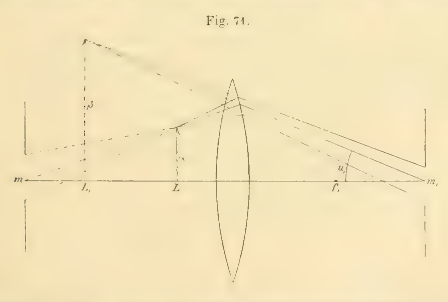
Entfernung der Lupe vom Auge, für das kurzsichtige $\left(\frac{1}{b_r} < 0\right)$ wächst sie mit der Annäherung der Lupe an das Auge.

Fällt der hintere Brennpunkt der Lupe mit dem ersten Hauptpunkte des Auges zusammen, so ist die Vergrößerung von der optischen Einstellung unabhängig, also für alle Refraktionszustände und Akkommodationsgrade die gleiche; ist aber (dem absoluten Werte nach) $d > F$ (also $1 + \frac{d}{F} < 0$), so ist die Vergrößerung bei gleicher deutlicher Sehweite um so stärker, je schwächer die Refraktion, d. i. je geringer die Myopie bezw. je stärker die Hypermetropie ist und je weniger das Auge akkommodiert; das entgegengesetzte tritt ein, wenn der hintere Brennpunkt der Lupe hinter dem ersten Hauptpunkte des Auges liegt, also wenn $d < F$ ist. Im letzteren Falle wird das Sehen mit der Lupe den größten Vorteil bieten, wenn möglichst stark akkommodiert wird. Daher soll zur Vermeidung solcher Anstrengung eine für längeres Arbeiten zu tragende Lupe immer so angebracht sein, dass ihr hinterer Brennpunkt nicht hinter den ersten Hauptpunkt des Auges zu liegen kommt.

In der praktischen Optik wird die vergrößernde Wirkung einer Lupe vielfach in der Weise bestimmt, dass man die Größe des Sehwinkels (= Knotenpunktswinkels), unter welchem das durch die Linse gesehene Objekt erscheint, vergleicht mit der des Sehwinkels, unter welchem das Objekt mit unbewaffnetem Auge gesehen würde, **wenn es sich im Bildabstande befände.**

Befindet sich das Bild β im Abstande g vom vorderen Knotenpunkte, so ist die Tangente des Sehwinkels, unter dem es erscheint, $= \frac{\beta}{g}$, die Vergrößerung Q für das im gleichen Abstande gesehene Objekt α also: $Q = \frac{\beta g}{\alpha g} = \frac{tg\,u_g}{\alpha}\,g$; für den Abstand g wird dabei als Normalentfernung die sogen. deutliche

Fig. 71.



Sehweite = 25 cm angenommen. Man bezeichnet diese Vergrößerung als die konventionelle. (Bei dieser Definition ist u. a. nicht auf die Verschiebung der Knotenpunkte Rücksicht genommen, die dadurch bedingt ist, dass beim Sehen

ohne Lupe im allgemeinen das Auge stärker akkommodiert, als beim Sehen mit der Lupe.)

Statt dieser noch ziemlich verbreiteten Bestimmungsweise hat ABBE (1884) als Maß für die Vergrößerungswirkung einer Lupe das Verhältnis des Sehwinkels, unter welchem ein Objekt von der Austrittspupille aus durch das Instrument erscheint, zur Größe dieses Objektes selbst vorgeschlagen. Für die einfachen Lupen, die uns hier in erster Linie beschäftigen, ist die Austrittspupille identisch mit der Pupille des Beobachters. Ist (Fig. 71. nach CZAPSKI) β das Bild, welches vom Objekt α durch die Linse entworfen wird, $u_,$ der Sehwinkel, unter dem es erscheint, $m_,$ der Mittelpunkt der Austrittspupille, $X_, = m_, f_,$ dessen Abstand vom hinteren Brennpunkte der Linse, $x_, = L_, f_,$ der Abstand des Bildes von diesem Brennpunkte und F die Brennweite der Linse, so wird, wenn $X_,$ gegen $x_,$ verhältnismäßig klein ist, die ABBE'sche Vergrößerung, die mit V bezeichnet werden möge, durch die Formel gegeben:

$$V = \frac{tg u_,}{\alpha} = \frac{1}{F}\left(1 + \frac{X_,}{x_,}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (41)$$

(Über die Ableitung dieser Formel siehe z. B. CZAPSKI, Theorie der optischen Instrumente p. 161.)

Vergleicht man diese ABBE'sche Vergrößerung mit der konventionellen, so erhält man, da $tg u_g = tg u_,$ gesetzt werden kann:

$$Q = \frac{tg u_,}{\alpha_, g} = g V = \frac{g}{F}\left(1 + \frac{X_,}{x_,}\right).$$

Für die Mehrzahl der optischen Instrumente (nicht aber allgemein für Lupen) ist $X_,$ verschwindend klein im Verhaltnis zu $x_,$ (bezw. $= 0$, wenn der hintere Brennpunkt des Instrumentes mit der Austrittspupille zusammenfällt), und es ist dann

$$V = \frac{1}{F} \quad \text{und} \quad Q = \frac{g}{F} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (42)$$

Allgemein ist die ABBE'sche Vergrößerung gleich der konventionellen, dividiert durch die mittlere deutliche Sehweite. Bei großeren Abstanden ist der Unterschied zwischen dem Knotenpunkts- und dem Hauptpunktsabstande des Objektes verschwindend; die konventionelle Vergrößerung entspricht dann der oben für das emmetropische, akkommodationslose Auge berechneten.

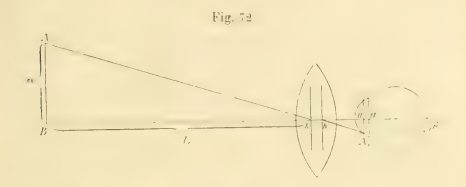
§ 85. Wir untersuchen nun die Beziehungen zwischen Brennpunktswinkeln und Netzhautbildgrößen.

Wenn (Fig. 72) eine Linse sich in solchem Abstande vor dem akkommodationslosen Auge befindet, dass ihr hinterer Hauptpunkt mit dem vorderen Brennpunkte des Auges zusammenfällt, also $h_{,,} H_, = \varphi_,$ ist, und wenn das Auge auf das im Abstande $l_,$ vom vorderen Hauptpunkte der Linse befindliche Objekt $AB = \alpha$ eingestellt ist, so geht der von A nach $h_,$ gerichtete Strahl nach Durchtritt durch die Linse in der zu $Ah_,$ parallelen Richtung $h_{,,}A_,$ weiter, ist also nach der Brechung im Auge zur Achse parallel, da er vom vorderen Brennpunkte des Auges kommt. β wird also stets $= H_, A_,$ sein, unabhängig von der Achsenlänge des Auges.

Nun ist $\frac{H_, A_,}{H_, h_{,,}} = \frac{AB}{Bh_,}$ oder $\frac{\beta}{\varphi_,} = \frac{\alpha}{l_,}$, daher $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\varphi_,}{l_,}$.

Wenn die Dicke der Linse vernachlässigt wird, so besagt diese Gleichung, dass die Objektgröße sich zur Bildgröße verhält, wie der Brennpunktsabstand des Punktes, auf den das bewaffnete Auge eingestellt ist, zur vorderen Brennweite des Auges (Nagel).

Fig. 72



Dieser Satz hat für jeden beliebigen Objektsabstand Giltigkeit. Nun ist aber $\frac{\varphi_,}{\beta}$ das Maß für die absolute Sehschärfe; ist $\frac{\alpha}{l_,}$ das Maß für den kleinsten Brennpunktswinkel (statt der Tangente kann wieder der Winkel selbst gesetzt werden), so ergeben die kleinsten Brennpunktswinkel den reciproken Wert der absoluten Sehschärfe (unabhängig vom Abstande des Objektes). Gleich großen Brennpunktswinkeln entsprechen in Augen mit gleichem brechendem Apparate, die ohne Akkommodation mit dem erforderlichen Glase auf den Objektsabstand eingestellt sind, gleich große Netzhautbilder, unabhängig vom Objektsabstande und von Achsenametropie.

§ 86. Im emmetropischen Auge ist das absolute Maß der Sehschärfe $S = \frac{\varphi_,}{\beta} = \frac{1}{\beta D_,}$, wenn $D_,$ die Brechkraft des emmetropischen, ruhenden Auges bedeutet. Bezeichnen wir mit S_Δ die Sehschärfe eines anderen Auges, dessen Brechkraft um Δ von der des emmetropischen verschieden ist (durch Akkommodation oder durch stärkere Krümmung u. s. w. der brechenden Medien), so ist $S_\Delta = \frac{1}{\beta D_\Delta}$, worin $D_\Delta = D_, + \Delta$ ist; daher ist

$$\frac{S}{S_\Delta} = \frac{D_\Delta}{D_,}; \quad S = S_\Delta\left(1 + \frac{\Delta}{D_,}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (43)$$

$D_,$ ist im reduzierten Auge = 66,66 Dioptrien. $\frac{1}{D_,} = 15$ mm.

Die obigen Gleichungen besagen folgendes: Die mit Brennpunktswinkeln gemessene Sehschärfe im akkommodierenden Auge ist unabhängig von dessen

Achsenlänge und vom Abstande, in dem die Sehschärfe bestimmt wird, also auch von dem benutzten Korrektionsglase, sie wechselt aber mit dem Grade der Akkommodation. Im akkommodationslosen Auge erhält man bei Messung mittels Brennpunktswinkeln in jedem Abstande und mit jedem Glase die absolute Sehschärfe.

Die absolute Sehschärfe für ein normales Auge ist um soviel Prozent größer, bezw. kleiner, als für ein Auge mit anders brechendem Apparate, als die mit 1,5 multiplizierte Zahl der Dioptrien beträgt, um welche die Brechkraft des letzteren die des normalen übertrifft, bezw. hinter ihr zurückbleibt.

Ist im schematischen, linsenhaltigen Auge $D_l = 65$ Dioptrien, im aphakischen, schematischen = ca. 43 Dioptrien, also $\varDelta = -22$, so wird $S = 0{,}67\,S_{\varDelta}$: die absolute Sehschärfe des schematischen, linsenhaltigen Auges ist angenähert = $^2/_3$ der absoluten Sehschärfe des aphakischen Auges (vgl. auch den Abschnitt Aphakie).

Bei der Vergleichung der Sehschärfen verschiedener achsenametropischer Augen wird man also die Brennpunktswinkel zu messen haben, bei der Untersuchung der Sehschärfe eines und desselben Auges bei verschiedenen Akkommodationszuständen dagegen die Hauptpunktswinkel. Mittels Knotenpunktswinkeln kann die absolute Sehschärfe nur auf großen Abstand im akkommodationslosen Auge bestimmt werden (sie fallen dann mit den Brennpunktswinkeln zusammen), die natürliche Sehschärfe nur bei Prüfung ohne Glas in großem Abstande (wobei die Knotenpunktswinkel mit den Hauptpunktswinkeln zusammenfallen).

Durch die im vorstehenden kurz wiedergegebenen Gullstrand'schen Untersuchungen ist, wie schon oben erwähnt, der einzige Grund weggefallen, der früher für Donders bestimmend gewesen war, die Objekt- und Bildabstände von den Knotenpunkten zu messen.

Bei der klassischen Methode der subjektiven Refraktionsbestimmung nach Donders wird die Untersuchung auf großen Abstand (6 m) vorgenommen; der Unterschied zwischen Brennpunkts- und Knotenpunktswinkeln ist dann verschwindend klein. Da die Korrektionsgläser sich angenähert im vorderen Brennpunkte des linsenhaltigen Auges befinden, so ergiebt diese Methode den Wert für die absolute Sehschärfe, sofern die Akkommodation ausgeschlossen ist, was im allgemeinen wenigstens annähernd zutrifft. (Bei Bestimmung der Hypermetropie kommt selbstverständlich nur deren manifester Teil in Betracht.)

Somit gestattet die Donders'sche Methode gleichzeitige Bestimmung von Refraktion und Sehschärfe. Um eine solche auch in endlichem Abstande vornehmen zu können, hat Gullstrand ein Optometer konstruiert, durch welches die Bilder in gleicher Größe und gleichem Abstande gesehen werden, wie bei der Donders'schen Methode mit den Korrektionsgläsern. Die Untersuchung erfolgt mit den gewöhnlichen Sehproben.

§ 87. In der ophthalmologischen Praxis benutzt man bei Bestimmung der Sehschärfe als Sehobjekte seit langer Zeit mit Vorliebe Buchstaben, Zahlen und Leseproben.

Buchstabensehproben sind zuerst in zweckmäßiger Anordnung von Küchler (1843), später von Smee (1854), Jäger (1854) und von Stellwag (1855) angegeben worden. Nach einer Mitteilung von Pergens haben schon vor 100 Jahren manche Augenärzte die Sehschärfe ausgedrückt durch Sehzeichen und den Abstand, in dem sie erkannt wurden; 1623 benutzte Deca de Valdes zur Brillenbestimmung Senfkörner, die auf einer geraden Linie aufgelegt waren.

Die weiteste Verbreitung haben die Snellen'schen Proben gefunden; ihrer Herstellung hat Snellen die oben besprochene Thatsache zu Grunde gelegt, dass ein Gesichtswinkel von etwa einer Minute der kleinste ist, unter dem, unter gewöhnlichen Verhältnissen, 2 Punkte noch deutlich voneinander getrennt gesehen werden können. Snellen ging von der Voraussetzung aus, dass zum Erkennen der einzelnen Teile eines Buchstabens ein ebenso großer Gesichtswinkel nötig sei. Diese Voraussetzung ist insofern nicht ganz zutreffend, als bei dem Erkennen von Buchstaben eine Reihe von anderen Umständen in Betracht kommt, als bei der gesonderten Wahrnehmung zweier Punkte, speziell die Beurteilung von Lageverschiedenheiten (ganz abgesehen von der ergänzenden Reproduktion vermöge des Gedächtnisbildes). Wie ganz anders aber beim Erkennen von Lageverschiedenheiten die Grenzen der Sehschärfe sind, als bei gesonderter Wahrnehmung zweier Punkte, wurde schon oben erörtert (§ 54).

Die Buchstaben sind auf den Snellen'schen Tafeln von verschiedener Größe und in Reihen angeordnet; jede Reihe enthält die Bezeichnung des Abstandes, in welchem der ganze Buchstabe unter einem Winkel von 5 Minuten, seine einzelnen Striche unter einem Winkel von einer Minute erscheinen. Die Sehschärfe wird dann durch einen Bruch ausgedrückt, dessen Zähler den Abstand des Untersuchten, dessen Nenner den Abstand angiebt, in welchem die eben noch richtig gelesenen Buchstaben unter einem Winkel von 5 Minuten erscheinen. Wird die Reihe $D = 6$ in 6 m gelesen, so hat der Patient Sehschärfe $\frac{6}{6} = 1$.

Die Snellen'schen Proben gestatten so einen direkten Ausdruck für die Sehschärfe bis zu $^6/_{60}$; um noch stärkere Herabsetzungen auszudrücken, geht Snellen davon aus, dass die ausgestreckten Finger der Hand auf dunklem Grunde ungefähr dem Werte $D = 60$ gleichgesetzt werden können; werden die Finger also nur in 2 m Entfernung gezählt, so ist ungefähr $S = \frac{2}{60}$; ist nur noch Lichtempfindung vorhanden, so schreibt Snellen $S = \frac{1}{\infty}$.

Unsere Sehprüfungen werden im allgemeinen bei sehr verschiedenen Beleuchtungen, insbesondere auch bei anderen vorgenommen, als denjenigen, für welche die Snellen'schen Tafeln Giltigkeit haben. Wenn auch innerhalb nicht

ganz enger Grenzen dieser störende Umstand durch die Adaptation des Sehorgans ausgeglichen werden mag, so könnte man doch einen Fehler begehen, wenn man bei allen Beleuchtungen die gemessene Sehschärfe durch den Bruch ausdrückt, dessen Nenner der kleinsten gelesenen Zahlenreihe entspricht. Diese Fehlerquelle sucht Schweigger zu umgehen, indem er die Sehschärfe durch einen Bruch ausdrückt, dessen Zähler der kleinsten Reihe entspricht, die ein normales Vergleichsauge bei der jeweiligen Beleuchtung erkennt, dessen Nenner durch die kleinste vom Kranken noch gelesene Reihe gegeben ist.

§ 88. Auch bei verschiedenen als normal zu bezeichnenden Augen sind die Krümmungsverhältnisse der Hornhaut, das Linsenspektrum, Zahl und Anordnung der Mouches volantes u. s. w. im allgemeinen von einander verschieden, und dadurch werden sich auch bei gleichem Verhalten des percipierenden Apparates merklich verschiedene Sehschärfen ergeben. Snellen kam auf Grund seiner Messungen an vielen anscheinend normalsichtigen Augen zu dem Schlusse, dass kein Anlass zur Annahme einer Anomalie sei, wenn man in jugendlichen Augen mit seinen Tafeln $S = 1$ findet. Diese Voraussetzung wurde freilich zu einer Zeit gemacht, zu welcher insbesondere genauere Ermittelungen über geringe Grade von Astigmatismus noch nicht im gleichen Umfange vorgenommen waren, wie heute. Wenigstens findet man bei Untersuchung gesunder jugendlicher Personen sehr häufig die Sehschärfe merklich größer als $^6/_6$ ($^6/_4$—$^6/_3$) und noch mehr und man kann oft bei solchen, die nur $^6/_6$ haben, einen kleinen Refraktionsfehler nachweisen. Eine Sehschärfe $= {^6/_6}$ (nach Snellen) ist somit keineswegs als die beste Sehschärfe eines normalen Auges anzusehen, sondern kann höchstens als eine solche gelten, die für die meisten Anforderungen des gewöhnlichen Lebens ausreicht und daher im allgemeinen keine Korrektion erfordert. Bei vielen, auch wissenschaftlichen Untersuchungen wird nicht genügend berücksichtigt, dass jemand mit $S = {^6/_6}$ doch eine beträchtliche Herabsetzung seines Sehens haben kann (wenn er früher $S = {^6/_3}$ oder noch mehr hatte). Trotzdem scheint es kaum zweckmäßig zu sein, von der einmal angenommenen Einheit abzugehen und etwa das Maximum der Sehschärfe eines gesunden Auges als Einheit zu wählen.

Nach den Snellen'schen ist eine große Zahl von Sehproben angegeben worden, die sich fast alle im wesentlichen auf das gleiche oder ein ähnliches Prinzip gründen, zum Teil eine etwas größere Sehschärfe als Einheit wählen, im allgemeinen aber vorwiegend technische Verbesserungen darstellen; eine vergleichende W[illegible]gung aller würde uns viel zu weit führen. Ich verweise auf das Litteraturverzeichnis, in welchem eine größere Anzahl solcher Proben angeführt ist.

Unter den vielen Vorschlägen zur Verbesserung unserer Sehprüfungsmethoden möchte ich nur den Javal'schen eingehender anführen, weil er mir eine Vereinfachung unserer Untersuchungstechnik zu ermöglichen scheint.

In den SNELLEN'schen Tafeln wechselt die Größe der einzelnen Buchstabenreihen ohne bestimmte Gesetzmäßigkeit. JAVAL empfiehlt in Anlehnung an einen schon von GREEN (1868) gemachten Vorschlag, die Größe der einzelnen Reihen in geometrischem Verhältnisse wachsen zu lassen, so, dass das Verhältnis einer jeden Reihe zur nächst kleineren = 1,41 ist. »Genügende« Sehschärfe nimmt JAVAL an, wenn die Buchstaben einer Reihe in einem Abstande erkannt werden, der gleich dem Tausendfachen der Buchstabenhöhe ist, also 5 mm hohe Buchstaben (bei 1,25 mm Dicke der einzelnen Striche) in 5 m; jeder Reihe ist die die Buchstabenhöhe angebende Zahl vorgedruckt. Die Reihenfolge der Buchstabenhöhen ist 5, 7, 10, 14, 20 mm. Zum Nahesehen wird die Ferntafel photographisch auf $1/_{20}$ verkleinert; dann sind die entsprechenden Abstände, in welchen die verschiedenen Reihen mit »genügender« Sehschärfe bei mittlerer Beleuchtung gesehen werden sollen, 0,25 m, 0,35, 0,5, 0,7 und 1 m. JAVAL's Tafeln für Sehprüfung in größerem Abstande haben bei der üblichen Bezeichnungsweise der Sehschärfe (nach SNELLEN) den Vorzug, von dem Abstande innerhalb gewisser Grenzen unabhängig zu machen, indem man die Prüfung in 5 m oder in 3,5 oder in 2,5 m Abstand vornehmen kann, während doch die Sehschärfe immer durch einen entsprechenden einfachen Bruch ausdrückbar ist. JAVAL schlägt aber vor, die Sehschärfe durch die Zahl auszudrücken, die der eben noch gelesenen Linie entspricht und die Buchstabenhöhe angiebt; man würde so gewissermaßen den Grad der Sehschwäche ausdrücken.

JAVAL empfiehlt, wie auch COHN, schwarze Buchstaben auf mattem Glas, die am Fenster hinter dem Kopfe des Untersuchten aufgehängt und im Spiegel gelesen werden; das Verfahren, (das ich sehr zweckmäßig gefunden habe), hat den Vorzug, dass es auch in verhältnismäßig kleinen Sehprüfungszimmern anzuwenden ist, und dass man, ohne von dem Patienten sich zu entfernen, die zu lesenden Buchstaben mit den Fingern bezeichnen kann. Um Sehschärfe > 1 (nach SNELLEN) bestimmen zu können, sind diesen Sehproben 2 Buchstabenreihen beigefügt, die um so viel kleiner sind, als jene, die der »genügenden« entsprechen, dass noch Sehschärfe 1,5 und 2 festgestellt werden kann. Die Benutzung der auf $1/_{20}$ verkleinerten Ferntafel zur Naheprüfung hat auch den Vorteil, gewisse Beziehungen zwischen den beiden Prüfungsergebnissen herzustellen. Dagegen ist eingewendet worden (LANDOLT), dass zuverlässige Bestimmungen nur bei Prüfung in großem Abstande möglich seien, da dann der Emmetrope und der korrigierte Ametrope sicherer ihre Akkommodation entspannen; es ist zu berücksichtigen, daß ja auch (s. o.) die Naheprüfung das absolute Maß der Sehschärfe ergiebt, wenn das untersuchte Auge akkommodationslos durch ein korrigierendes Glas auf den betreffenden Abstand eingestellt ist und dieser Abstand vom vorderen Brennpunkte des Auges gemessen wird. Andererseits ist die absolute Sehschärfe aus der natürlichen, vom Akkommodationszustande unabhängigen (mittels Hauptpunktswinkeln gemessenen) einfach zu ermitteln.

LANDOLT verwirft die Buchstabenproben und benutzt zur Sehprüfung einen an einer Stelle unterbrochenen schwarzen Ring auf weißem Grunde, der in verschiedenen Größen derart angefertigt ist, dass die Sehschärfe in Dezimalbrüchen ausgedrückt werden kann. GUILLERY verwirft auch die LANDOLT'schen und empfiehlt statt ihrer seine Punktproben: In Vierecken von verschiedener Größe befinden sich entsprechend große Punkte; der Untersuchte hat anzugeben, an welcher Stelle im Viereck er die Punkte sieht.

Der große Gewinn, den die Einführung einer einheitlichen Messungsweise durch die SNELLEN'sche Methode gebracht hatte, ist mehr oder weniger eingebüßt worden durch die zahlreichen und mannigfaltigen Abänderungen der Sehprobentafeln, von welchen eine große Zahl verschiedener Arten in Gebrauch ist. Denn die Werte für die Sehschärfe, die einmal mit den LANDOLT'schen Ringen, das andere Mal mit den BURCHARDT'schen Tüpfeln, das drittemal mit SNELLEN'schen Buchstaben erhalten sind, können unter einander nicht leicht verglichen werden. Zur Erzielung vergleichbarer Werte erscheint es demnach in erster Linie wünschenswert, dass wieder eine auch bezüglich der benutzten Sehobjekte einheitliche Methode der Sehprüfung möglichst allgemein eingeführt werde. Für die praktischen Zwecke erscheinen Buchstaben- bezw. Zahlenproben (für Analphabeten Strich- oder Punkt- oder die LANDOLT'schen Ringproben) noch die zweckmäßigsten, trotz der vom rein wissenschaftlichen Standpunkte ziemlich großen Fehlerquellen. Darauf, dass solche Sehproben oft auch bei wissenschaftlichen Untersuchungen benutzt und hier für zureichend erachtet wurden, ist eine Reihe zum Teile beträchtlicher Irrtümer zurückzuführen.

Von dem durchschnittlichen Werte der nach dem SNELLEN'schen Prinzipe an normalen Augen ermittelten Sehschärfe möge die folgende Zusammenstellung ein Bild geben.

Ausgedehnte, vergleichende Untersuchungen über die Sehschärfe, die mit Hilfe der (nach dem gleichen Prinzip wie die Buchstaben hergestellten) SNELLEN'schen Haken vorgenommen wurden, hat unter anderen H. COHN mitgeteilt. Aus seinen Beobachtungen geht hervor, dass bei (zum großen Teil im Freien vorgenommenen) Prüfungen von Schülern, Soldaten und Greisen 90 % $S > 1$ hatten (ähnliche Werte fand z. B. auch TALKO bei Rekrutenuntersuchungen; bei 62 % war $S = 1$—2, bei 23 % $S = 2$—3, bei 3,6 % $S = 3$—4, bei 0,3 % $S = 4$—8. Ferner fand COHN, dass die durchschnittliche Sehschärfe der Naturvölker, in gleicher Weise geprüft, nicht merklich größer ist, als die der civilisierten, so dass die in vielen Reiseberichten zu lesenden Angaben über außerordentliche Sehleistungen bei Naturvölkern nicht wohl auf höhere Distinktionsfähigkeit der Netzhaut oder besseren Bau des dioptrischen Apparates bezogen werden können. Bei Untersuchung von Schülern und von ägyptischen Rekruten fand COHN vereinzelt Sehschärfen bis zu 6,2 und 8 (es wurde also die Lage der SNELLEN'schen Haken, die in 6 m unter einem Winkel von 5 bezw. 1 Minute erscheinen, in 37 bezw. 48 m richtig erkannt). (Über die Abnahme der Sehschärfe im Alter vgl. den Abschnitt Presbyopie § 111.)

Die von COHN bei Naturvölkern gefundenen Werte sind noch höher als die früher von verschiedenen Forschern mitgeteilten. So sollten (unter Zugrundelegen der HUMBOLDT'schen Angaben) die Sehschärfewerte bei den Indianern bis zu 5 betragen, nach KOHLMANN's Angaben bei Nubiern $= 3$; Fälle, wo

$S = 3$ nach SNELLEN gefunden wird, sind auch bei civilisierten Völkern nicht selten.[1]

§ 89. Zur Bestimmung der **Refraktion** des Auges werden im wesentlichen 4 Methoden geübt.

1. Subjektive Methode: Gleichzeitige Bestimmung von Refraktion und Sehschärfe: Klassische Methode nach DONDERS.

Von objektiven Methoden sind die gebräuchlichsten: 2. Refraktionsbestimmung mittels des aufrechten Bildes. 3. Refraktionsbestimmung mittels des umgekehrten Bildes. 4. Skiaskopische Refraktionsbestimmung (CUIGNET-sche Methode). Hier soll nur das wesentlichste über diese Methoden Platz finden.

Bei Bestimmung im aufrechten Bilde ergiebt sich die Refraktion des untersuchten Auges aus dem gefundenen Glase (d. i. dem stärksten Konvex-, bezw. schwächsten Konkavglase, mit dem der Hintergrund scharf gesehen wird) in folgender Weise:

Es sei a der Fernpunktsabstand des untersuchten Auges I, b der des untersuchenden Auges (II), d bezw. $d_{,}$ der Abstand des Glases von I bezw. II. Wenn II ein deutliches Bild der Netzhaut von I erhält (beide in Akkommodationsruhe gedacht), so sind die Fernpunkte der beiden Augen in Bezug auf das Korrektionsglas konjugierte Punkte. Es ist also die Brechkraft der Korrektionslinse:

$$D = B - A \left(\text{worin } B = \frac{1}{b - d_{,}} \text{ und } A = \frac{1}{a - d}\right).$$

Ist der Beobachter emmetropisch oder durch die richtigen Korrektionsgläser emmetropisch gemacht, so wird $B = 0$, also $D = -A$. Das schwächste zum deutlichen Sehen des Hintergrundes nötige Glas giebt ohne weiteres die Refraktion des untersuchten Auges an, wenn d vernachlässigt werden kann; anderenfalls erhält man die wirkliche Refraktion aus der mit dem Glase bestimmten auf einfache Weise: Ist z. B. $d = 3$ cm, $D = -15$ Dioptrien, also $f = -6{,}6$ cm, so ist $b = f - 3 = -9{,}6$ cm, daher die Refraktion des Auges $= -10{,}4$ Dioptrien. Handelt es sich, wie häufig der Fall, nur um Brillenbestimmung, so wird die Untersuchung am zweckmäßigsten bei solcher Stellung des Glases vorgenommen, dass sein Abstand vom untersuchten Auge ca. 13 mm beträgt, weil dann der gefundene Wert direkt auch das Korrektionsglas angiebt.

Die Refraktionsbestimmung im **umgekehrten Bilde** ist in verschiedenen Modifikationen angewendet worden, von welchen hier nur zwei erwähnt werden mögen.

1. Man ermittelt den Abstand des umgekehrten Luftbildes der Papille oder einzelner Gefäße, entweder indem man das Bild auf einer Mattscheibe

auffängt (Snellen und Landolt), oder aber, indem man sein beobachtendes Auge durch passende Gläser genügend kurzsichtig macht und durch Variieren des eigenen Abstandes vom Untersuchten das umgekehrte Luftbild in den Fernpunkt seines Auges bringt (Burchardt 1874).

2. Man ermittelt den Abstand a, in welchem ein vor dem Auge verschiebliches leuchtendes Objekt ein scharfes Bild auf dem Augenhintergrunde des Untersuchten entwirft (Schmidt-Rimpler). Fällt der Brennpunkt der vorgesetzten Lupe mit dem ersten Hauptpunkte des Auges zusammen, so dass (dem absoluten Werte nach) $d = f$ wird, so erhält man leicht $a = \frac{f^2}{2f - b}$. Bezeichnet c den Abstand des von der Linse entworfenen Bildes vom vorderen Brennpunkte der Linse, so ist (dem absoluten Werte nach) $b = 2f + c$, daher $a = -\frac{f^2}{c}$ und der Grad der Ametropie: $A = -cD^2$; für $D =$ 10 Dioptrien ist $A = -100c$, wenn c in Metern ausgedrückt, oder $A = -c$, wenn c in Centimetern gemessen wird. In Worten: Wenn der Abstand des Objektes, von dem ein scharfes Bild auf dem Hintergrunde entworfen wird, um 1 cm variiert, so variiert unter den angegebenen Versuchsbedingungen die Refraktion des untersuchten Auges um eine Dioptrie. Nach diesem Prinzip ist das Instrument von Schmidt-Rimpler konstruiert. (Eine Modifikation dieses Verfahrens (Rychner 1895) besteht darin, dass man nicht die Schärfe des auf der Netzhaut entworfenen Bildes beobachtet, sondern die paralaktische Verschiebung des vom Hintergrunde durch die vorgesetzte Linse entworfenen Bildes gegen die Maschen eines verschieblich vor der Linse angebrachten feinen Netzes.)

Die bisher geschilderten Methoden zur objektiven Refraktionsbestimmung sind in den letzten Jahren vielfach verdrängt worden durch die skiaskopische Refraktionsbestimmung. [Über die Theorie derselben vgl. z. B. Leroy (1887), E. Fick (1891), Rüppell (1892), Neustätter (1899)]. Der Grund hierfür liegt wesentlich darin, dass die Skiaskopie bei verhältnismäßig viel einfacherer Handhabung nicht minder genaue, ja, soweit die Brillenbestimmung allein in Betracht kommt, im allgemeinen sogar genauere Ergebnisse liefert, als die genannten Methoden, insbesondere auch, als die Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde. Bei dieser letzteren ist völlige Entspannung der Akkommodation von Arzt und Patient erforderlich, was bei dem geringen Abstande beider unter Umständen nicht in genügendem Umfange erreicht wird. Bei der Skiaskopie ist die Akkommodation des Beobachters ohne Einfluss auf das Ergebnis, die des Untersuchten wird leichter entspannt, da die Untersuchung in größerem Abstande vorgenommen werden kann. Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde können wesentlich verschiedene Ergebnisse erzielt werden, wenn die Untersuchung (insbesondere bei enger Bohrung des Spiegels) durch verschiedene Teile des Pupillargebietes vorgenommen

wird; es können hierbei leicht Differenzen von mehreren Dioptrien vorkommen. Bei der Skiaskopie wird im allgemeinen nicht die Refraktion einzelner Teile des in Betracht kommenden Gebietes, sondern gewissermaßen eine Durchschnittsrefraktion ermittelt, die meist auch für die Brillenkorrektion in erster Linie maßgebend sein wird. Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde macht es oft beträchtliche Schwierigkeit, festzustellen, wann, bei Wechsel der vorgesetzten Gläser, ein gesehenes Detail des Hintergrundes noch, bezw. nicht mehr in größter Schärfe erscheint. Bei der Skiaskopie handelt es sich in den gewöhnlichen Fällen nur darum, die Verschiebungsrichtung eines beleuchteten Feldes bei Drehung des Spiegels zu erkennen, was im allgemeinen viel leichter ist. Insbesondere zeigt sich dieser Vorzug der skiaskopischen Methode auch bei Bestimmung des Astigmatismus, wo es im aufrechten Bilde oft besondere Schwierigkeiten macht, festzustellen, bei welchem Glase eine wagerechte oder senkrechte Partie des Hintergrundes in größter Schärfe erscheint. Ein Nachteil beider Methoden ist, dass im allgemeinen nicht genau die Refraktion des fovealen Bezirkes ermittelt wird, die uns vor Allem interessiert, sondern die eines mehr oder weniger seitlich gelegenen Gebietes, meist jene an der Papille; bei Refraktionsbestimmung der Foveagegend werden die hier an sich schon ungünstigen Beleuchtungsverhältnisse durch die meist enger werdende Pupille noch ungünstiger und die Neigung des Untersuchten, zu akkommodieren, ist bei dieser Blickrichtung im allgemeinen besonders groß. Die Differenz zwischen der Refraktion an der Papille und jener an der Fovea kann aber (insbesondere bei höheren Myopiegraden) beträchtliche Werte erreichen.

Die objektive Bestimmung der Refraktion bei sehr hochgradiger Myopie ist sowohl im aufrechten Bilde als auf skiaskopischem Wege mit Schwierigkeiten verknüpft. Die schon erwähnten Methoden der Bestimmung im umgekehrten Bilde können hier von Vorteil sein. Lohnstein hat kürzlich ein hierher gehöriges, brauchbares Verfahren angegeben (1901).

Bei genügender Sehschärfe hochgradig Kurzsichtiger liefert die subjektive Ermittelung der Fernpunktslage mit feinen Kokonfäden etc. an einem genügend stabilen und genauen Apparate im allgemeinen zuverlässigere Ergebnisse, als die Bestimmung mit den genannten objektiven Methoden. Ein derartiges Verfahren hat z. B. Otto, einen ähnlichen, einfacheren Apparat später Hegg beschrieben.

§ 90. Die in den letzten Paragraphen entwickelten Gesetze geben uns auch die Möglichkeit, die Vergrößerung des Augenhintergrundes bei Untersuchung mit dem Augenspiegel in verhältnismäßig einfacher Weise zu berechnen.

Die Gesetze für die Veränderung der Netzhautbildgrößen, die z. B. bei Änderung der Brechkraft des optischen Systems eintreten, müssen in gleicher Weise die entsprechenden Veränderungen der Vergrößerung ermitteln lassen, die der Augenhintergrund durch seinen zugehörigen

dioptrischen Apparat erfährt: einer Vergrößerung des Netzhautbildes bei Änderung im optischen Systeme entspricht eine Abnahme der Vergrößerung des durch das System vom Fundus entworfenen Bildes und umgekehrt nach gleichen, wie den oben entwickelten Gesetzen. Für die Vergrößerung im aufrechten Bilde wollen wir von dem Satze ausgehen, dass in verschiedenen Augen mit verschiedener Achsenlänge von gleichgroßen und gleichweit entfernten Gegenständen gleichgroße Netzhautbilder entworfen werden, sofern der brechende Apparat der gleiche ist, also auch in achsenametropischen Augen mit normalem brechendem Apparate, sofern das Korrektionsglas sich im vorderen Brennpunkte befindet. Dies besagt, dass die ophthalmoskopische Vergrößerung im aufrechten Bilde für alle rein achsenametropische Augen, die durch ein im vorderen Brennpunkte befindliches Glas korrigiert sind, die gleiche ist, und zwar gleich groß, wie die Vergrößerung für ein emmetropisches, akkommodationsloses Auge. Befindet sich das Korrektionsglas der Ametropie nicht im vorderen Brennpunkte des Auges, sondern dem letzteren näher, so ist für Konvexgläser die Brechkraft des kombinierten Systems größer, für Konkavgläser kleiner, als die des Auges. Die Netzhautbildgrößen sind in diesem Falle, wie wir sahen, bei Korrektion durch Konkavgläser größer, bei Korrektion durch Konvexgläser kleiner, als im emmetropischen Auge. Das umgekehrte gilt, wenn der Abstand der Korrektionsgläser vom Auge größer ist, als dessen vordere Brennweite. Daraus folgt, dass die Vergrößerung des Augenhintergrundes durch das dioptrische System im aufrechten Bilde kleiner ist, als im normalen, gleich stark brechenden, akkommodationslosen Auge, wenn das die Kurzsichtigkeit korrigierende Konkavglas sich diesseits des vorderen Brennpunktes befindet und wenn das die Übersichtigkeit korrigierende Konvexglas sich jenseits des vorderen Brennpunktes befindet. Umgekehrt wird der Augenhintergrund in stärkerer Vergrößerung gesehen, als im normalen Auge, wenn das Konkavglas sich jenseits, und wenn das Konvexglas sich diesseits des vorderen Brennpunktes befindet.

Zur Berechnung der Augenhintergrundsvergrößerung bei abnorm brechendem optischem Systeme gehen wir von dem aus der Untersuchung der Brennpunktswinkel sich ergebenden Satze aus, wonach die absolute Sehschärfe des normalen Auges aus der eines krümmungsametropischen ermittelt wird, indem man die Dioptrienzahl der Krümmungsametropie mit 1,5 multipliziert. Der erhaltene Wert giebt die Zahl der Prozente an, um welche die absolute Sehschärfe des normalen Auges jener des krümmungshypermetropischen nachsteht, bezw. die des krümmungsmyopischen übertrifft.

Aus dem über die Beziehungen zwischen Sehschärfe bezw. Netzhautbildgröße und ophthalmoskopischer Vergrößerung Gesagten folgt, dass bei Krümmungshypermetropie die Vergrößerung im aufrechten Bilde kleiner, bei Krümmungsmyopie dagegen größer ist, als im normalen Auge.

Wird die Vergrößerung im normalen Auge = 1 gesetzt, so ist z. B.

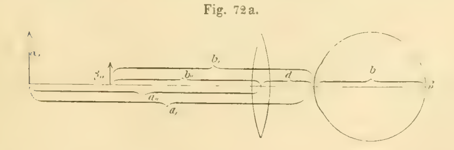
für eine Krümmungsametropie von	die Vergrößerung bei Myopie	bei Hypermetropie
1 Dioptrie	1,015	0,985
3 »	1,045	0,955
5 »	1,075	0,925
10 »	1,15	0,85
15 »	1,225	0,775
20 »	1,3	0,7
25 »	1,375	0,625

Diese Zahlen geben uns also das Verhältnis zwischen der Vergrößerung im emmetropischen und im ametropischen Auge. Um die entsprechenden absoluten Werte zu erhalten, müssen wir noch die Vergrößerung im emmetropischen Auge kennen. Ein emmetropischer Beobachter, der ohne Glas den Hintergrund eines emmetropischen Auges untersucht, sieht diesen gewissermaßen durch eine Lupe, die durch den dioptrischen Apparat des untersuchten Auges dargestellt wird. Es gilt also hier die einfache Formel für Lupenvergrößerung: $V = \frac{a_{\prime}}{\varphi_{\prime}}$, ($a_{\prime}$ = mittlere deutliche Sehweite, $\varphi_{\prime}$ = vordere Brennweite des Auges, also für das normale Auge = 15 mm). Für $a_{\prime}$ = 250 mm wird somit die mittlere Vergrößerung bei Untersuchung im aufrechten Bilde eine ca. 16fache sein.

Danach ergiebt sich aus der Tabelle, dass für das aphakische Auge mit einer Übersichtigkeit von 10 Dioptrien die Vergrößerung ca. 13½fach ist. Ein um 10 Dioptrien akkommodierendes Auge giebt eine ca. 18½fache Vergrößerung.

Die Gleichung $V = \frac{a_{\prime}}{\varphi_{\prime}}$ besagt weiter, dass die Vergrößerung des aufrechten Bildes mit der mittleren deutlichen Sehweite wächst und abnimmt.

Fig. 72a.



Sie ist z. B. für a = 200 mm bei normalem brechendem Apparate nur ca. 13,3fach.

Zur Ermittelung der absoluten Werte der Vergrößerung im umgekehrten Bilde können wir ähnlich, wie bei der Untersuchung der Wirkung vor das Auge gesetzter Gläser vorgehen.

Es sei (Fig. 72a) $\alpha_{,}$ das Objekt, $\beta_{,}$ sein Netzhautbild, $a_{,}$ sein Abstand vom ersten Hauptpunkte des Auges, b der Abstand der Netzhaut vom zweiten Hauptpunkte des Auges, so dass

$$1)\ \frac{\alpha_{,}}{\beta_{,}} = \frac{B_{,}}{A_{,}} \left(\text{worin } B_{,} = \frac{n}{b};\ A_{,} = \frac{1}{a_{,}} \text{ ist}\right)$$

Ist $\beta_{,,}$ das durch die (unendlich dünne) Linse von $\alpha_{,}$ entworfene Bild, $a_{,,}$ bezw. $b_{,,}$ der Abstand zwischen $\alpha_{,}$ bezw. $\beta_{,,}$ und der Linse, so ist

$$2)\ \frac{\beta_{,,}}{\alpha_{,}} = \frac{A_{,,}}{B_{,,}} \left(A_{,,} = \frac{1}{a_{,,}};\ B_{,,} = \frac{1}{b_{,,}}\right).$$

Durch Multiplikation von 1. und 2. erhält man

$$3)\ \frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = \frac{B_{,}}{A_{,}} \cdot \frac{A_{,,}}{B_{,,}}; \text{ da } B_{,,} = A_{,,} + D \text{ und da } D = \frac{1}{f}$$ (= Brechkraft, bezw. Brennweite der vorgesetzten Linse) ist, so wird

$$4)\ \frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = \frac{B_{,}}{A_{,}} \cdot \frac{A_{,,}}{A_{,,} + D} = \frac{B_{,}}{A_{,}} \cdot \frac{A_{,,}}{A_{,,} + \frac{1}{f}} = \frac{B_{,} A_{,,} f}{A_{,} A_{,,} f + A_{,}};$$

setzen wir die eben angegebenen Werte für $B_{,}$, $A_{,}$ und $A_{,,}$ ein, so wird (da $a_{,,} = a_{,} - d$):

$$5)\ \frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = V = \frac{nf}{b} \frac{a_{,}}{f + a_{,,}} = \frac{nf}{b} \frac{a_{,}}{f + a_{,} - d}$$

Bei Emmetropie ist $A_{,}$ und $A_{,,} = 0$; $B_{,}$ wird in diesem Falle $= D_{,}$ (wenn $D_{,}$ die Brechkraft des Auges bezeichnet); daher lautet für Emmetropie die Gleichung 4): $\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = \frac{D_{,}}{D} = fD_{,}$ d. h. die Vergrößerung des umgekehrten Bildes ist im emmetropischen Auge der Brennweite der benutzten Konvexlinse und der Brechkraft des Auges direkt proportional. Der Abstand der Lupe vom Auge ist ohne Einfluss auf die Vergrößerung.

Im hypermetropischen, nicht akkommodierenden Auge nimmt die ophthalmoskopische Vergrößerung zu, wenn die Lupe dem Auge genähert wird, dagegen ab, wenn sie vom Auge entfernt wird; umgekehrt wächst bei Myopie die Vergrößerung bei Entfernung der Lupe vom Auge und wird kleiner bei Annäherung der Linse an das Auge.

Für $D_{,} = 66{,}6$ Dioptrien wird bei einer Linse von:

	33 Dioptrien bezw.	20 Dioptrien und	10 Dioptrien
$V =$	2	» 3,3	» 6,6

Die durchschnittliche Vergrößerung des umgekehrten Bildes bei den gebräuchlichen Lupen von 10—20 Dioptrien ist also eine ca. 3—6fache.

Schreibt man die Gleichung 4) in der Form:

$\frac{\beta_{\prime\prime}}{\beta_\prime} = \frac{A_\prime + D_\prime}{A_\prime} \cdot \frac{A_{\prime\prime}}{A_{\prime\prime} + D}$, und setzt die Werte für $A_\prime$, $A_{\prime\prime}$, $D_\prime$ und D ein, so erhält man $\frac{\beta_{\prime\prime}}{\beta_\prime} = \frac{\varphi_\prime + a_\prime}{\varphi_\prime} \cdot \frac{f}{f + a_{\prime\prime}}$; es ist ersichtlich, dass wiederum $\frac{\beta_{\prime\prime}}{\beta_\prime} = \frac{f}{\varphi_\prime} = \frac{D_\prime}{D}$ wird, wenn $\varphi_\prime + a_\prime = f + a_{\prime\prime}$, d. h. wenn $a_\prime - a_{\prime\prime} = f - \varphi_\prime$; $a_\prime - a_{\prime\prime}$ entspricht aber dem Abstande d der Linse vom Auge. Unter Berücksichtigung der Vorzeichen ergiebt sich also folgendes: Befindet sich die Lupe in solcher Stellung, dass ihr Brennpunkt mit dem vorderen Brennpunkte des Auges zusammenfällt, so ist in allen achsenametropischen Augen die Vergrößerung die gleiche, und ebenso groß, wie im emmetropischen **Auge bei Benutzung der gleichen Lupe.**

Ferner ergiebt sich aus Gleichung 5, dass $\frac{\beta_{\prime\prime}}{\beta_\prime} = V = \frac{nf}{b} = \frac{B}{D}$ wird, wenn $\frac{a_\prime}{f + a_{\prime\prime}} = 1$, also $a_\prime - a_{\prime\prime} = f$ ist; in Worten: Wenn sich die Lupe in solchem Abstande vom Auge befindet, dass ihr Brennpunkt mit dem vorderen Hauptpunkte des Auges zusammenfällt, so ist die Vergrößerung der reduzierten Convergenz des auf der Netzhaut vereinigten Strahlenbündels proportional.

Da die Lupe meist in kleinerem Abstande vom Auge steht, als dem Werte $f - \varphi_\prime$ entspricht, so besteht für die Achsenametropien, die ja den weitaus größten Teil der Refraktionsanomalien bilden (aber auch nur für diese und für diesen Lupenabstand), der bekannte Satz zu Recht, dass im umgekehrten Bilde die Vergrößerung bei Untersuchung des kurzsichtigen Auges kleiner, bei der des übersichtigen größer ist, als beim emmetropischen Auge.

Die Gleichung $V = \frac{a_\prime}{\varphi_\prime} = a_\prime D_\prime$ könnte zur Ermittelung der Brechkraft des optischen Systems des Auges dienen, wenn es möglich wäre, V in genügend sicherer Weise zu messen.

Bezeichnet p den wirklichen Papillendurchmesser (im Mittel = 1,56 mm), P den vergrößerten Durchmesser des durch das brechende System entworfenen Bildes $\left(\text{also } V = \frac{P}{p}\right)$, so ist, da $D_\prime = \frac{V}{a_\prime}$ und $a_\prime = 250$ mm:

$$D_\prime = \frac{P}{a_\prime p} = \frac{P}{250 \cdot 1{,}56} = \frac{P}{390 \text{ mm}}.$$

Im normalen Auge ist P ungefähr = 26 mm, daher $D_\prime$ = 66,6 Dioptrien.

Eine Reihe von Versuchen zur genaueren Messung des vergrößerten Bildes des Augenhintergrundes haben zuerst Ruete (1852), später Landolt und Weiss

(1877) für das aufrechte Bild, Schneller. Liebreich, Laqueur, Hirschberg, Schön, Reid u. a. für das umgekehrte Bild angestellt. Als Objekt wird meist die Sehnervenscheibe genommen, unter der Voraussetzung, dass sie in normalen Augen genügend übereinstimmende Größe habe, (was aber nicht durchaus zutrifft). Als Mittelwert für den Durchmesser der Papille nimmt Nagel mit Weiss = 1,56 mm an; die Grenzen hat Weiss beim Normalen zwischen 1,44 und 1,65 mm schwankend, bei Glaucom bis zu 1,86 zunehmend, bei Atrophie auf ca. 1,32 mm abnehmend gefunden.

Nagel hatte die Möglichkeit erörtert, aus dem Verhaltnisse der relativen zur absoluten Sehscharfe Schlüsse auf den optischen Bau des Auges zu ziehen; Gullstrand hat aber die Unhaltbarkeit der dazu notwendigen Voraussetzungen dargelegt.

Litteratur.

1840. Hueck, Über die Grenzen des Sehvermögens. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 82.

1855. Stellwag, Die Akkommodationsfehler des menschlichen Auges. Wiener Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. XVI.

1857. Eschricht, Studier over perspectivet gjennem det bevebende oin.

Schneller, Über ein Mikrometer am Augenspiegel und damit ausgeführte Messungen. Arch. f. Ophth. III, 2. S. 121.

1859. Panum, Die scheinbare Größe der gesehenen Objekte. Arch. f. Ophth. V, 1. S. 1.

Liebreich, Ophthalmoskopische Notizen. Arch. f. Ophth. V, 2 u. 1861. VII, 2. S. 124.

1863. Vierordt, K., Über die Messung der Sehschärfe. Arch. f. Ophth. IX. S. 219—223.

1865. Verschoor, Optometers en Optometrie. Schoonhoven.

1866. Donders, An. d. Akkommodation und Refraktion.

1869. Woinow, M., Zur Bestimmung der Sehschärfe bei Ametropie. Arch. f. Ophth. XV, 2. S. 144—154.

Giraud-Teulon, De l'influence des lentilles positives et negatives etc. Ann. d'Ocul. LXII. S. 93.

1870. Dor, H., Kurze Anleitung zur Untersuchung der Sehschärfe. Bern, Fiala.

Knapp, Über den Einfluss der Brillen auf die optischen Konstanten und die Sehschärfe des Auges. Arch. f. Augenheilk. I, 2. S. 152.

1871. Stock, Untersuchungen über die Größe der Bilder bei Kombination zweier optischer Systeme. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 131.

1872. Donders, F. C., Prakt. Opmerkingen over den invloed van hulplenzen op de Gezichtsscherpte. 13. Jaarl. Vers. van het Nederl. Gasth. v. Oogl. S. 123.

Woinow, Zur Lehre über den Einfluss der optischen Gläser auf die Sehschärfe. Arch. f. Ophth. XVIII, 1.

Jeffries, Sehschärfe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. X. S. 113.

Mauthner, Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges.

1873. Burchardt, Über hohe Grade von Sehschärfe. Deutsche militärärztl. Zeitschr. II, 11 u. 12.

Stammeshaus, Über den Einfluss von Konkav- und Konvexgläsern auf die Größe der auf der Retina erzeugten Bilder. Sitzungsber. d. niederrhein. Ges. f. naturwissensch. Heilk. XVII, 3.

Javal, Transpar. Sehproben. Congrès Londres.

Laqueur, Centralbl. f. d. med. Wissensch. S. 189.

1874. Landolt, Le grossissement des images ophthalmoscopiques. Paris.

1875. Landolt, Arch. f. Ophth. XXIII, 1. S. 254.

Cohn, H., Untersuchungen der Sehschärfe in der Jugend und im Alter. Jahresber. d. schles. Ges.

1876. Weiss, Beiträge zur Entwicklung der Myopie. Arch. f. Ophth. XXII, 3. S. 1.

1877. Hirschberg, J., Historisch-kritische Notiz zur Lehre vom kleinsten Gesichtswinkel. Verhandl. d. Berliner Physiol. Ges. v. 12. Jan. Opht. Hosp. Rep. I. S. 16—21.

Landolt, Bemerkungen zu dem Artikel: Beiträge zur Entwicklung der Myopie von L. Weiss. Arch. f. Ophth. XXIII. S. 263.

Weiss, Die Vergrößerung, in der man bei der Augenspiegeluntersuchung im aufrechten Bild den Augenhintergrund sieht.

1878. Javal, Des caractères typographiques au point de vue de la fonction visuelle. Soc. de Biol. 21. Dez.

1879. Cohn, H., Vergleichende Messungen der Sehschärfe und des Farbensinns bei Tages-, Gas- und elektrischem Lichte. Arch. f. Augenheilk. VIII. S. 408.

Maurel, Dimension minime de l'image rétinienne. Arch. de Méd. Nav. XXI. S. 265—280. Gaz. Hebd. No. 28.

Pouchet, Note sur les moindres images rétiniennes. Gaz. méd. de Paris. No. 39. Soc. de Biol. 12. Juli. Gaz. Hebd. No. 29. S. 463.

Talko, S., Ein Fall von außerordentlicher Sehschärfe. Ber. über d. 12. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 114.

1880. Armaignac, H., Quelques mots sur l'acuité visuelle et les échelles optométriques. Rev. d'Ocul. du Sud-Ouest. I, 1. S 5 u. I, 2. S. 25—33.

Charpentier, A., Sur la limite de petitesse des objets visibles. Rev. Méd. de l'Est. 1. Jan.

Javal, E., Acuité visuelle. Gaz. des Hôp. No. 28. S. 221.

Nagel, An. d. Akkommodation u. Refraktion. Handb. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl.

Talko, Resultate der Messungen der Sehschärfe bei den Soldaten des Warschauer Militärbezirks. Kronika Lekarska. No. 2 u. 3. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XVIII. S. 139.

1881. Badal, Sur l'angle visuel. Soc. d'Anat. et de Physiol de Bordeaux. I.

1882. Charpentier, A., Recherches sur la distinction des points lumineux. Arch. d'Ophth. S. 382.

Leroy, Vision centrale, irradiation et acuité visuelle. Arch. d'Opht. Janv., Fevr. et Juill.-Août.

Bjerrum, J., Untersuchungen über den Formen- und Lichtsinn. Diss. Kopenhagen.

Saskewitsch, Einige Fälle außerordentlicher Sehschärfe. Wratsch. No. 1.

Seggel, Über die Augen der Feuerländer und das Sehen der Naturvölker im Verhältnis zu dem der Kulturvölker. Arch. f. Anthrop. XIV. S. 3.

1883. Wecker und Landolt, Traité complet d'ophtalmologie.

1884. Abbe, Note on the proper definition of the amplifying power of a lens or lens system. Journ. R. Micr. Soc. II. S. 348.

1885. König, A., Über den Gesichtssinn der Zulukaffern. Verhandl. d. Berliner Physiol. Ges. IV. S. 15—17.

Oliver, An new series of metric test-letters for determining the acuity of direct vision for form. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 130. Med. News. XLVII. S. 247.

1886. Bellarminow, L., Über die Tauglichkeit und Genauigkeit der vorhandenen Probebuchstaben für die Bestimmung der Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XVI. S. 284.

Berry, Note on the relative visual acuity of fully corrected axial ametropia. Ophth. Rev. S. 309.

du Bois-Reymond, C., Seheinheit und kleinster Sehwinkel. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 3. S. 1.

1886. Dennet, W. S., Test-type for popular use. Ophth. Rev. S. 254.
1887. v. Jaeger, E., Schriftskalen. Wien. 8. Aufl.
Werthmann, Th., Über die Zahl der Seheinheiten im mittleren Teile der Netzhaut. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIII, 2. S. 137.
1889. Carl, A., Über die Anwendung von Dezimalbrüchen zur Bestimmung der Sehschärfe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 469—472.
Culver, C. M., Test-types. Albany Med. Ann. X. S. 321.
Landolt, E., Opto-types simples. Paris, O. Doin.
Mitkjewitsch, G., Schriftproben und Tafeln zur Untersuchung der Sehschärfe. Odessa.
Nieden, A., Schrifttafeln zur Bestimmung der Sehschärfe für die Ferne. N. F. Wiesbaden, Bergmann.
1890. Parent. Echelle optométrique. Compt. Rend. de la Soc. franç. d'Opht. Rev. Gén. 229.
Schweigger, C., Sehproben. 2. verb. Aufl. Berlin, Hirschwald.
1891. Becker, Ein Apparat zur Sehschärfenbestimmung mit beweglichen Lesezeichen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. XV. S. 171.
Guillery, Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe. Wiesbaden, Bergmann. 6 Taf. u. 2 Hefte.
Guillery, Begriff und Messung der centralen Sehschärfe auf physiologischer Grundlage. Arch. f. Augenheilk. XXXV. S. 35.
Gullstrand, Om Samtidig Bestämning af Refraction och Synskärpan. Nord. Med. Ark. XXIII. S. 9 u. 16.
1892. Guillery, Nochmals meine Sehproben. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 79—84.
Liebrecht, Kritische Bemerkungen zu Guillery's »Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben«. Arch. f. Augenheilk. XXV. S. 37—41.
Schneller, Sehproben zur Bestimmung der Refraktion, Sehschärfe und Akkommodation. Danzig, Kafemann. 24 S.
Steiger, A., Einheitliche Sehproben zur Untersuchung der Sehschärfe in die Ferne und in die Nähe. Hamburg u. Leipzig, L. Voss. 40 S. u. 1 Taf. Beitr. z. Augenheilk. Heft 7.
Wolffberg, Buchstaben-, Zahlen- und Bildertafeln, nebst einer Abhandlung über die Sehschärfe. Breslau, Preuß & Jünger.
1893. Albrand, W., Sehproben. Leipzig, H. Hartung & Sohn. 4 Taf. 1 S. Text.
Badal, Considérations sur la mesure de l'acuité visuelle. Soc. d'Opht. et de Laryng. de Bordeau. Avril. Ann. d'Ocul. CX. S. 201.
Burchardt, M., Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite. 4. Aufl. Berlin, O. Enslin. 11 Taf. u. 32 S.
Cohn, H., Tafel zur Prüfung der Sehschärfe der Schulkinder, Soldaten, Seeleute und Bahnbeamten. Nach Snellen's Prinzip. 4. Aufl. Breslau, Priebatsch.
Guillery, Zur Sehschärfebestimmung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXI. S. 263—266.
Javal, Über die Messung der Sehschärfe. Franz. Ges. d. Augenheilk. 11. Sitz. zu Paris. 1.—4. Mai.
Magawly, Tafel und Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe. 2 Aufl. St. Petersburg.
1894. Guillery, Einiges über den Formensinn. Arch. f. Augenheilk. XXVIII. S. 263—276.
Hirschberg, J., Zur Geschichte der Sehproben. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. XVIII. S. 320.
Nicati, W., Echelles visuelles et leurs applications. Soc. d'éditions. Ann. d'Ocul. CXI. S. 413.
Snellen, H., Optotypi ad visum determinandum secundum formulam $v = \frac{d}{D}$. 12. Aufl. Berlin, H. Peters.

1894. Triepel, Über Sehleistung bei Myopie. Arch. f. Ophth. XL, 5. S. 50.
1895. Triepel, Zur Sehleistung der Myopen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 3. S. 139.
Stettler, Hat der Flächeninhalt der Probebuchstaben Einfluss auf das Ergebnis der Sehschärfenmessung? Deutschmann's Beiträge z. prakt. Augenheilk. XVIII. S. 1.
1896. Katz, Zur Frage von dem Einfluss des Alters auf die Sehschärfe. Westnik ophth. XIII, 6. S. 487.
Snellen, Notes on vision and retinal perception. Bowman Lecture of the Ophth. Rev. S. 164.
Cohn, Die Sehleistung der Helgoländer und der auf Helgoland stationierten Mannschaften der Kaiserlichen Marine. Deutsche med. Wochenschr. No. 43. S. 698.
Wallace, Apparatus for measuring accommodation. Amer. Ophth. Soc. Ophth. Rev. S. 243.
Thorington, Bracket for test cards. Amer. Journ. of Ophth. S. 88.
1897. Guillery, Über die Empfindungskreise der Netzhaut. Pflüger's Arch. LXVIII. S. 120.
Guillery, Begriff und Messung der centralen Sehschärfe auf physiologischer Grundlage. Arch. f. Augenheilk. XXXV. S. 35.
Asher, Über das Grenzgebiet des Licht- und Raumsinns. Zeitschr. f. Biol. XXXV. S 394.
Reche, Einige Bemerkungen zur Messung der Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XXXVI. S. 143.
Cohn, Verbesserte Täfelchen zur Prüfung der Sehleistung und Sehschärfe. Wochenschr. f. Therapie u. Hygiene des Auges. No. 1.
1898. Hummelsheim, Über den Einfluss der Pupillenweite auf die Sehschärfe bei verschiedener Intensität der Beleuchtung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIV, 2. S. 357.
Seggel, Über die Anforderungen an das Auge und die Sehstörungen beim Schießen der Infanterie. Deutsche militärärztl. Zeitschr.
Noiszewski, L'ataxie optique et la polyopie monoculaire. XII. Congr. internat. Sect. XI. Ophth. S. 312.
Cohn, H., Untersuchungen über die Sehleistungen der Ägypter. Berliner klin. Wochenschr. No. 20.
1899. Javal, Réforme de la notation de l'acuité visuelle. XIII. Congr. internat. Paris.
Landolt, Nouveaux optotypes pour la détermination de l'acuité visuelle. Arch. d'Opht. Août.
Sulzer, Quelques remarques sur la mesure de l'acuité visuelle. Ann. d'Ocul. CXXI. S. 443.
de Obarrio, Über das Maximum der Sehschärfe. IX. internat. Congr. Utrecht.
Kerr, Statistics regarding school childrens vision. Brit. med. Journ. 11. März.
Cohn, Die Sehleistungen von 50000 Breslauer Schulkindern. Breslau.
Guillery, Bemerkungen über Sehschärfe und Schießausbildung. Deutsche militärärztl. Zeitschr.
Schenk, Einige neuere Arbeiten zur Theorie der Sehschärfe. Zeitschr. f. Augenheilk. I. S. 377.

— ·

Abschnitt VII.

Akkommodation.

§ 91. Unter Akkommodation verstehen wir die Fähigkeit des Auges, sich auf Objekte, die sich in verschiedener Entfernung befinden, nacheinander so einzustellen, dass sie auf der Netzhaut scharf abgebildet werden.

Durch die Beobachtungen von Langenbeck (1849) und Cramer (1849 und 51), sowie durch die messenden Untersuchungen von Helmholtz (1853) wurde der objektive Nachweis erbracht, dass die akkommodativen Veränderungen im Auge wesentlich oder ausschließlich an Veränderungen der Linsenform geknüpft sind.

Stellt sich ein normales, jugendliches Auge auf einen in mäßigem Abstande, aber noch jenseits seines Nahepunktes befindlichen Punkt ein, den es also ohne große Anstrengung deutlich sehen kann, so lassen sich gegenüber der Ruhestellung folgende Veränderungen wahrnehmen:

1. Die Pupille wird enger.

2. Der vordere Linsenscheitel rückt merklich nach vorn, so dass die vordere Kammer in ihren mittleren Teilen abgeflacht wird.

3. Die peripheren Teile der vorderen Kammer werden nicht merklich seichter; in vielen Augen kann man sogar eine geringe Vertiefung derselben durch Zurückweichen der peripheren Iristeile beobachten.

4. Die Krümmung des im Pupillargebiete sichtbaren Teiles der vorderen Linsenfläche nimmt beträchtlich zu. Die Krümmung der hinteren Linsenfläche scheint gleichfalls zuzunehmen, wenn auch in viel geringerem Grade, als die der vorderen Fläche.

Der Untersuchte, von dem wir bisher angenommen hatten, dass er nur eine mäßig große Akkommodationsanstrengung mache, möge jetzt willkürlich möglichst stark akkommodieren (viele Menschen können dies ohne besondere Hilfsmittel, andere nur, indem sie sich einen Gegenstand dicht vor das Auge halten oder einen solchen vorstellen, den sie zu fixieren suchen). Man sieht dann am Auge die folgenden Veränderungen eintreten:

5. Die Linse sinkt um ca. 0,25—0,3 mm, ihrer Schwere folgend, nach unten; je nach der Haltung des Kopfes sinkt sie also gegen den temporalen oder nasalen, gegen den frontal oder infraorbital gelegenen Teil des Ciliarkörpers; nur bei einer solchen Stellung des nach vorn oder hinten geneigten Kopfes, bei welcher die Iris in einer horizontalen Ebene liegt, sieht man auch bei stärkster Akkommodationsanstrengung keine Verschiebung der Linse gegen den Pupillenrand eintreten.

6. Bei kleinen zuckenden Bewegungen des Auges schlottert die Linse deutlich hin und her. Ist das Auge aber unbewegt, so sieht man auch bei maximaler Akkommodationsanstrengung kein Linsenschlottern.

Zu diesen objektiv festzustellenden Veränderungen bei der Akkommodation kommen noch die folgenden, subjektiv wahrnehmbaren:

7. Bei entoptischer Beobachtung des »Linsen-Spektrums« sieht man, wenn die akkommodative Anstrengung eine gewisse Höhe erreicht hat, plötzlich eine scheinbare Verschiebung der entoptischen Linsenfigur (bezw. einzelner, besonders deutlich in ihr hervortretender Punkte, die kleinen Trübungen der Linse entsprechen) nach oben; bei Entspannung der Akkommodation erfolgt eine rasche Verschiebung der Figur bezw. der Punkte nach unten. Während und unmittelbar nach kleinen zuckenden Bewegungen des Auges beobachtet man ein starkes Zittern der entoptisch gesehenen Linsenfigur.

Unter den für das Verständnis des Akkommodationsvorganges wichtigen Beobachtungen am menschlichen Auge ist noch der Versuch von Völckers und Hensen zu erwähnen, welche feine Nadeln in den Äquator eines eben enucleierten Auges einstachen und (ebenso wie früher an Tieraugen) bei elektrischer Reizung der Ciliarkörpergegend an diesen Nadeln Bewegungen feststellten, die eine Verschiebung der Chorioidea nach vorn hin anzeigten. Eine durch den Ciliarkörper gestochene Nadel bewegte sich nicht, ebenso schien eine dicht neben der Macula, etwas nach außen von ihr, eingestochene Nadel absolut still zu stehen.

§ 92. Zu 1. Die Pupillenveränderung ist das am längsten bekannte, zuerst von Scheiner (1619) beschriebene Symptom bei der Akkommodation. Verschiedene Forscher glaubten hierdurch allein die Akkommodation erklären zu können (Haller, le Roy, Hall, Morton). Neuerdings noch wollte man die Fähigkeit des deutlichen Nahesehens bei einzelnen Säugetieren mit schwach entwickeltem Akkommodationsvermögen (Katze, Kaninchen, Hund) allein auf Pupillenverengerung zurückführen. Ernst Heinrich Weber nahm an, dass die Pupillenkontraktion der Convergenz der Gesichtslinien associiert sei; später wurde, insbesondere durch Beobachtungen von Donders und durch Hering die Association des Pupillenspieles mit der Ciliarmuskelkontraktion wahrscheinlich gemacht.

Letzterer stellte folgenden Versuch an: Vor jedes Auge wird ein mit einem kleinen Loche versehenes Blättchen gehalten und so hindurchgesehen, dass die beiden gesehenen Lichtkreise in einen einzigen verschmelzen; nun wird in das eine Blättchen oberhalb, in das andere unterhalb des ersten Loches je ein zweites gemacht, so dass man 3 Lichtkreise übereinander sieht. Akkommodiert man jetzt bei unveränderter Blickrichtung für die Nähe, so sieht man die Lichtkreise sich gleichzeitig und in gleichem Maße verkleinern. Gegen diesen Versuch hat neuerdings Vervoort (1898) eingewendet, dass hier eine Verkleinerung des entoptisch gesehenen Pupillenbildes schon allein durch die vermehrte Linsenwölbung bedingt sein könne, der Versuch also nicht unbedingt eine akkommodative Pupillenverengerung beweise. Versuche, die er selbst unter Koster's Leitung

anstellte, führten ihn dazu, mit WEBER anzunehmen, dass die Pupillenverengerung nur der Convergenz, nicht aber der Akkommodation associiert sei. Die Pupillenverengerung erfolgt nicht genau gleichzeitig mit der Ciliarmuskelkontraktion, sondern merklich später (DONDERS).

HÜCK und nach ihm TSCHERNING haben angegeben, dass die Pupillenkontraktion bei Akkommodation in anderer Weise erfolge, als bei Lichteinfall. Im ersteren Falle sollen auch die periphersten Teile der Iris eine central gerichtete Bewegung zeigen, was im letzteren Falle in der Regel nicht stattfinde. Ich selbst habe bei wiederholten Untersuchungen, zum Teile mit stark vergrößernden Lupen, nur den einen Unterschied zwischen beiden Arten der Pupillenverengerung gefunden, dass bei der Akkommodation die mittleren Iristeile auch etwas nach vorn rücken. Das Verhalten der peripheren Iristeile war an den von mir untersuchten Augen bei der Akkommodation nicht merklich anders als bei Lichteinfall.

Von einzelnen Autoren (z. B. TSCHERNING) wird die akkommodative Pupillenverengerung als eine rein mechanisch bedingte Erscheinung angesehen. TSCHERNING stützt seine Vermutung auf folgende Beobachtung: Wenn man am Leichenauge mittels einer in die vordere Kammer eingeführten Spritze Flüssigkeit aussaugt oder einpresst, so kann man die Pupille beliebig verengern oder erweitern, von 1—2 mm Durchmesser einerseits bis zu fast völliger Unsichtbarkeit des Irissaumes andererseits. (Schon ARLT hatte die Pupillenverengerung beobachtet, die im Leichenauge nach Paracentese der vorderen Kammer einzutreten pflegt.) Da die Linse beim Abfließen des Kammerwassers stark nach vorn geschoben werde und infolge des dadurch bedingten Zonulazuges sich im Zustande maximaler Akkommodation befinde, sei es wahrscheinlich, dass die bei Abfluss des Kammerwassers eintretende Pupillenverengerung eine akkommodative sei. Mit dem Nachweise der Irrigkeit der TSCHERNING'schen Hypothese (s. u.) ist auch die Unhaltbarkeit dieser Überlegung dargethan.

Ebensowenig haltbar ist die öfter geäußerte Annahme, dass Veränderung der Blutmenge der Iris beim Akkommodieren die Pupillenverengerung bedinge. Eine nennenswerte Veränderung der Blutmenge von Iris und Ciliarkörper infolge der Ciliarmuskelkontraktion ist bisher nicht nachgewiesen worden und an sich unwahrscheinlich; aus neueren Versuchen HEINE's geht zudem hervor, dass die mechanischen Momente der Blutfülle ohne Einfluss auf die Pupillenweite sind, diese vielmehr lediglich durch das Spiel beider Muskeln bestimmt wird.

§ 93. Zu 2. Das akkommodative Vorrücken des vorderen Linsenscheitels ist zuerst von HÜCK (1841) beobachtet worden; es lässt sich bei jugendlichen Individuen schon ohne besondere Hilfsmittel beobachten, wenn man ein Auge während des Akkommodierens im Profil oder etwa mit einer binocularen Lupe von vorn betrachtet. Im ersteren Falle tritt die bekannte von HELMHOLTZ eingehend beschriebene und abgebildete Veränderung ein (deren Beweiskraft übrigens von TSCHERNING angezweifelt wird).

Helmholtz schildert diese Veränderung im wesentlichen wie folgt: Der Beobachter stellt sich so, dass er die Hornhaut des beobachteten Auges von der Seite und etwas von hinten sieht, und dass er die schwarze Pupille dieses Auges etwa noch zur Hälfte vor dem Hornhautrande der Sclerotica hervorragen sieht, so lange das beobachtete Auge in die Ferne blickt. Wenn dieses bei unveränderter Blickrichtung auf die Nähe einstellt, so bemerkt man, »dass das schwarze Oval der Pupille und auch wohl ein Teil des ihm zugekehrten Irisrandes vor der Sclerotica sichtbar werden«. Weiter verschmälert sich dabei der helle Zwischenraum zwischen der schwarzen Pupille und einem davor gelegenen dunklen Streifen, welcher dem jenseitigen Rande der beschatteten, Sclera entspricht.

Für die Beobachtung von vorn ist, solange es sich nicht um messende Untersuchungen handelt, die binoculare Zeiss'sche Lupe sehr geeignet, die eine beträchtliche Vergrößerung bei genügend großem Gesichtsfelde und bequemem Fokalabstande giebt.

Das Vorrücken des vorderen Linsenscheitels ist eine bei der Akkommodation allgemein wahrzunehmende Erscheinung. Die Angabe Tschernings, der in einem von ihm untersuchten jugendlichen Auge den Ort des vorderen Linsenscheitels bei der Akkommodation unverändert fand, während der hintere Linsenpol nach hinten rückte, ist bis jetzt vereinzelt geblieben.

Im allgemeinen ist das Vorrücken des vorderen Linsenscheitels um so stärker, je mehr akkommodiert wird; bei stärkster akkommodativer Anstrengung verschiebt sich der Linsenscheitel im allgemeinen um so weiter aus seiner ursprünglichen Lage, je jünger die Versuchsperson ist; bei alten Leuten wird die akkommodative Ortsveränderung des Linsenscheitels geringer oder fehlt sogar vollständig. Der Durchschnittswert für das Vorrücken beträgt nach Messungen von Helmholtz an Augen mit einem Akkommodationsvermögen von ca. 7 Dioptrien 0,4 mm.

Zu 3. Über das Verhalten der peripheren Teile der vorderen Kammer bei der Akkommodation gehen die Angaben auseinander:

Cramer hat zuerst angegeben, dass in kindlichen Augen beim Nahesehen die vordere Kammer sich erweitere; nach v. Helmholtz weicht der peripherische Rand der Iris beim Nahesehen zurück. Nach Tscherning soll sich an der Vorderfläche der Iris eine circuläre Einsenkung bilden: der periphere, dem Ciliarkörper entsprechende Rand derselben steige steil, der centrale, der vorderen Linsenfläche entsprechende, sanft an: die periphersten Teile der Hinterfläche der Vorderkammer wichen dabei nicht zurück.

v. Helmholtz erklärte das Zurückweichen der peripheren Iristeile folgendermaßen: »Der Zug des Ciliarmuskels wird auch nach vorn hin sich geltend machen, wo er sich an das elastische Gewebe an der inneren Seite des Canalis Schlemmii ansetzt. Er wird dieses nach rückwärts hin dehnen und damit auch den Ansatz der Iris nach rückwärts ziehen, was im lebenden Auge wirklich geschieht. Es wird dadurch Platz gewonnen für die wässerige Feuchtigkeit, die andererseits durch das Vordringen der Krystalllinse in der Augenachse an Raum verliert.«

§ 94. Zu 4. Die dioptrisch wichtigste akkommodative Änderung im Auge ist die Zunahme der Wölbung der vorderen Linsenfläche im Pupillargebiete. Gewöhnlich wird angegeben, dass DESCARTES zuerst (1637) die Akkommodation mit vermehrter Linsenwölbung in Zusammenhang gebracht habe. In seinem Tractatus de homine beschreibt er die Ciliarfortsätze als »exigua quaedam nigra filamenta . . ., quae ab interiore parte tunicae W E F (bezieht sich auf eine Abbildung) procedunt atque omni ex parte cristallinum illum humorem ambiunt suntque velut exigui tendines quorum ope cristallini humoris figura mutari potest et paulo magis plana vel magis convexa reddi, prout usus exigit«. Und weiter »Mutatio figurae, quae humori crystallino accidit, efficit, ut objecta, quae in diversa ab oculo distantia existunt, in illius fundo distincte pingere possint imagines suas.« MAUTHNER hebt aber hervor, dass schon früher SCHEINER (1619) die Akkommodation auf eine Wölbungsänderung der Linse zurückgeführt habe. Er citiert auch die interessante Stelle bei SCHEINER, dass »manche junge Leute alles scharf sehen können, weil sie cristallinum flexilem (et tunicam retinam valde mobilem) haben. Die Natur habe der tunica uvea sowie den Ciliarfortsätzen die Fähigkeit der Gestaltsveränderung gegeben, »ut suo astrictu . . . humorem cristallinum aut conglobarent circumcirca comprimendo aut attenuarent attractione: vel in anteriora protruderent seu denique introrsus regererent.« In zweiter Linie nahm SCHEINER also noch an, dass einer Ortsveränderung der Linse in der Richtung von vorn nach hinten eine wesentliche Bedeutung für die Akkommodation zukomme.

In HALLER's Elementa physiologiae (1769, Lausanne) finde ich über den fraglichen Punkt folgende Angaben: »Alia Scheineri et Cartesii theoria fuit. Et ipsi nempe corpore ciliari contracto oculum ad proxima aptiorem reddi docuerunt; sed ita ut lens crystallina convexior redderetur, quam quidem mutationem etiam experimento aliquo Scheinerus confirmavit multosque habuit sequaces: ut omnino BIDLOUS eam figurae mutationem in avibus oculis ipsis conspici posse adfirmaret.«

Den Beweis, dass die akkommodative Veränderung sich in der Linse abspielen müsse, erbrachte THOMAS YOUNG durch seine 2 berühmt gewordenen Versuche:

1. zeigte er, dass die Akkommodation nicht durch vermehrte Hornhautwölbung zustande kommen könne, da auch nach Ausschaltung des Einflusses der Hornhaut durch Eintauchen der letzteren in Wasser die Akkommodation in gleichem Umfange wie vorher nachweisbar war.

2. zeigte er, dass die Akkommodation nicht auf einer Verlängerung der Augenachse beruhe, (wie vielfach angenommen wurde), indem er sein Auge zwischen einen der Hornhaut aufgelegten und einen kleineren dem hinteren Pole angelegten Ring einklemmte und so eine nennenswerte Achsenverlängerung des Auges unmöglich machte, ohne dass dadurch das Akkom-

modationsvermögen beeinträchtigt worden wäre. Young nahm, wie früher Pemberton, an, dass die Linse selbst Muskelfasern enthalte, durch deren Kontraktion ihre Gestalt geändert werden könne.

Den ersten objektiven Nachweis der Gestaltsveränderung der Linse bei der Akkommodation erbrachten M. Langenbeck (1849) und Cramer (1851). Unabhängig von ihnen fand Helmholtz (1853) die gleiche Thatsache.

Fig. 73.

Alle drei Forscher bedienten sich der gleichen Methode, indem sie die Veränderungen untersuchten, welche die Größe und Lage der von Purkinje (1823) und Sanson beschriebenen Reflexbildchen der Linse bei der Akkommodation erfahren.

Der Beobachter blicke von dem Punkte A nach dem untersuchten Auge, auf welches Licht von einer in O aufgestellten Flamme fällt. Ist das untersuchte Auge in Akkommodationsruhe (die Flächen sphärisch angenommen), so sieht der Beobachter die Reflexe der vorderen Hornhautfläche, der vorderen und der hinteren Linsenflache in der Richtung Ac bezw. Av und Ah (wenn von der Brechung in der Cornea abgesehen wird). Bei der Akkommodation wird die vordere Linsenfläche stärker gewölbt und nähert sich der Hornhaut; ersteres bedingt, dass das der vorderen Linsenfläche zugehörige Spiegelbild merklich kleiner wird. Das Vorrücken der vorderen Linsenfläche hat zur Folge, dass das Linsenbildchen in der Richtung Av_1, d. h. gegen das Hornhautbildchen hin verschoben erscheint. (Die Thatsache, dass das vordere Linsenbildchen bei der Akkommodation zum Hornhautbildchen heranrückt, beweist an sich allein noch nicht das Vorrücken des Linsenscheitels; denn auch die Wölbungszunahme der Linse allein, ohne Vorrücken ihrer Vorderfläche, hat eine Ortsveränderung des Bildchens gegen die Pupillenmitte, im obigen Falle also zum Hornhautbildchen hin, zur Folge.)

Auch hier ist die Untersuchung mit der Zeiss'schen binocularen Lupe ein geeignetes Mittel zur Beobachtung der beschriebenen Veränderungen. Die Lichtquelle wird im Dunkelzimmer so aufgestellt, dass für den durch die Lupe blickenden Beobachter das vordere Linsenbildchen im Pupillargebiete sichtbar ist. Es stellt sich dann als ein verwaschener, heller, leicht chagriniert erscheinender Fleck dar (die Chagrinierung dürfte vermutlich darauf zurückzuführen sein, dass unter diesen Versuchsbedingungen die einzelnen Epithelzellen der Linse eben an die Grenze der Wahrnehmbarkeit kommen). Bei der Akkommodation wird dieser verwaschene Fleck kleiner und schärfer begrenzt und wandert gegen die Pupillenmitte.

Da der Ort des vorderen Linsenbildchens weit hinter der Pupillenebene

gelegen ist, so ist es bei gewöhnlicher Pupillenweite oft nicht möglich, dasselbe durch beide Röhren der Lupe zugleich, also binocular zu sehen, wohl ist dies aber bei künstlich erweiterter Pupille der Fall, und die stereoskopische Wahrnehmung der Wölbungsvermehrung kann bei der beträchtlichen Vergrößerung leicht und eindringlich sein.

Die Messungen der Krümmung an den für die Nähe eingestellten Linsen müssen, auch wenn jedesmal möglichst stark akkommodiert wurde, je nach dem Alter der Versuchsperson sehr verschiedene Werte ergeben, da die Fähigkeit der Gestaltsveränderung der Linse mit zunehmendem Alter abnimmt. An einer Reihe jugendlicher Individuen von weniger als 30 Jahren wurden bei der Nahepunktseinstellung Radien zwischen 4,8 und 8,2 mm gefunden. Wesentlich ist der von Knapp durch Rechnung erbrachte Nachweis, dass die von ihm gemessenen Änderungen der Wölbung der Linse und des Ortes ihrer vorderen Fläche der Einstellungsänderung des betreffenden Auges entsprachen, dass also die akkommodative Refraktionserhöhung durch die Gestaltsveränderung der Linsen allein befriedigend erklärt werden konnte. Heine glaubt, dass ein kleiner Teil der akkommodativen Refraktionserhöhung (ca. 1—2 Dioptrien) auf Indexänderung der Linse zu beziehen sei, indem während der Akkommodation am vorderen Linsenpole sich eine weichere Masse von niedrigerem Index ansammle.

Die akkommodative Wölbungsänderung der hinteren Linsenfläche ist offenbar viel geringer, als die der vorderen. Die in ähnlicher Weise wie für die vordere Linsenfläche vorgenommenen Messungen ergaben folgende Werte.

Radius der hinteren Linsenfläche.

	Fernpunktseinstellung	Nahepunktseinstellung
v. Helmholtz	5,83	
	5,13	
	5,37	
Knapp	5,3546	4,6585
	5,4867	4,9536
	6,9012	5,6098
	6,4988	5,0855
Adamück und	6,0635	4,6941
Woinow	6,2156	5,0001
	7,6008	6,3792
	6,5331	5,6293
Mandelstamm	6,4088	5,0494
und Schöler	6,331	5,664
Reich	6,5875	4,9872
	5,5373	4,5825
	6,2229	5,1976
Woinow	6,2480	4,9714

Der Ort des hinteren Linsenscheitels ändert seine Lage bei der Akkommodation nicht merklich (Helmholtz). Die Dicke der Linse nimmt durch die geschilderten Wölbungsänderungen nach v. Helmholtz um 0,4 mm zu (von 3,6 auf 4,0 mm). Tscherning konnte bei Wiederholung derartiger Messungen nicht zu bestimmten Ergebnissen kommen.

Die Messung der Radien toter Linsen giebt im allgemeinen nur unzuverlässige Werte, weil die Linsen jugendlicher Individuen zu leicht ihre Form ändern; v. Helmholtz fand an 2 toten Linsen den Radius der Vorderfläche = 10,2 und 8,9, Stadfeldt = 11,4 mm, Heine bei jugendlichen Linsen (am vorderen Pole, nach Abtragung von Hornhaut und Iris, bei Rückenlage des Bulbus) 13—14 mm. Dagegen fanden sich an senilen Linsen, die weniger leicht ihre Gestalt ändern, kleinere Radien (z. B. bei einer 58jährigen Frau 10,6 mm). Wie geringe äußere Einflüsse die Gestalt der jugendlichen Linse beeinflussen können, geht z. B. daraus hervor, dass schon die Linse auf ebener Unterlage durch ihr eigenes Gewicht merklich abgeplattet werden kann, insbesondere, wenn sie in Luft liegt.

§ 95. Die bisher mitgeteilten Angaben bezogen sich auf die Wölbung der Linse im Pupillargebiete, die für das Sehen allein in Betracht kommt. Wir müssen aber auch die Form der peripheren Teile der Linsenflächen kurz besprechen, da hieraus weitgehende Schlüsse für die Theorie des Akkommodationsvorganges gezogen worden sind. Young fand bei seinen Untersuchungen mit dem Optometer, dass die peripheren Teile seines Pupillargebietes eine merklich geringere Akkommodationsbreite hatten, als die centralen (4,2 D. peripher gegen 9,8 D. central nach Tscherning)). Young giebt aber an, dass in dem Auge von Wollaston ein gleiches Verhalten nicht nachzuweisen gewesen sei und betont ausdrücklich, dass ein solcher »Fehler« nicht wohl allgemein gefunden werden dürfte. v. Helmholtz fand an seinen Augen nicht die von Young beobachtete Verkrümmung eines Systems von geraden, sich kreuzenden Linien bei der Akkommodation, die gleichfalls auf eine geringere Akkommodationsbreite der peripheren Linsenteile bezogen wird. Tscherning fand die Akkommodationsbreite bei Messung mit dem Young'schen Optometer, wenn der gegenseitige Abstand der Spalte 5 mm betrug, nur halb so groß oder noch kleiner, als die der centralen Partien und bezieht diese Erscheinung auf Abflachung des peripheren Teiles der vorderen Linsenfläche während der Akkommodation, die er auch mit anderen Methoden (Skiaskopie mittels leuchtenden Punktes, Untersuchung der Linsenbildchen in den peripheren Teilen mit dem Ophthalmophakometer, insbesondere aber mit dem Aberroskop) untersucht hat. (Gullstrand wurde (s. o.) durch die Analyse der aberroskopischen Erscheinungen zu dem Schlusse geführt, dass während des Akkommodationsaktes »die periphere Totalaberration in gewissen Fällen negativ wird, ohne dass es möglich ist,

für die übrigen Fälle eine Änderung zu konstatieren und ohne dass eine Veränderung der Aberration in der optischen Zone bewiesen wäre.«)

Die akkommodative Abflachung der peripheren Linsenteile, »vorübergehende Bildung eines Lenticonus anterior«, soll nach Tscherning das wesentliche Phänomen bei der Akkommodation sein. Ich habe dem gegenüber betont, dass diesem Phänomen schon deshalb keine große prinzipielle Bedeutung zukommen kann, weil es sich nicht in allen Augen findet. In meinen Augen z. B. haben auch jene peripheren Teile der Linse, die bei stark erweiterter Pupille eben noch zum Sehen benutzt werden können, annähernd gleich große Akkommodationsbreite, wie die centralen. Aber selbst wenn diese periphere Abnahme der Akkommodationsbreite eine ausnahmslos zu beobachtende Erscheinung wäre, so würden sich daraus doch noch keine zwingende Schlüsse für die Theorie der Akkommodation ziehen lassen (s. u.).

§ 96. Zu 5. Die unter 1—4 besprochenen Veränderungen am Auge kann man wahrnehmen, wenn eine jugendliche, normale Versuchsperson einen in der Nähe ihres Nahepunktes gelegenen Gegenstand ohne maximalen Akkommodationsimpuls fixiert.

Wenn die Versuchsperson nun eine möglichst große Akkommodationsanstrengung macht, so sieht man, wie schon erwähnt, bei kleinen willkürlichen Bewegungen des Auges die Linse deutlich schlottern. Die Erscheinung lässt sich am leichtesten beobachten, wenn man im Dunkelzimmer eine Lichtquelle so anbringt, dass der durch eine mäßig starke Lupe blickende Beobachter das hintere Linsenbildchen bequem sieht: solange während maximaler Akkommodationsanstrengung das Auge unbewegt ist, bleibt auch das Linsenbildchen ruhig, bei kleinen zuckenden Augenbewegungen macht es schleudernde Bewegungen; wird das Auge wieder ruhig gehalten, so kommt nach einigen kurzen zitternden Bewegungen auch das Linsenbildchen wieder zur Ruhe.

Coccius hat (1888) folgende Beobachtung mitgeteilt: »Wenn man bei ophthalmometrischen Messungen des Auges junge Hypermetropen einen spitzigen Körper in 3—4 Zoll Entfernung scharf binocular, fixieren lässt und alsdann diese Spitze in derselben Ebene der Entfernung hin und her führt und wieder kurz anhält, so dauert es gar nicht lange, so gerät das hintere Linsenbildchen in Schwankung. Diese Schwankung ist im Grade bei verschiedenen Individuen verschieden, besteht aber in einer wahren Lokomotion des hinteren Bildes.« Coccius findet bei seinen Messungen, »dass die Krümmungen der vorderen und hinteren Linsenfläche auch während des Schwankens der Linse sich gleich blieben und nicht geändert wurden« und kommt zu dem Schlusse: »Wenn die Linse bei gleichbleibenden Krümmungen in der Nahakkommodation Schwankungen oder geringe Lokomotionen zeigt, so können diese nicht von der Linse selbst ausgehen, sondern sie werden durch den Tensor chorioideae hervorgerufen, der eine geringe Menge von Flüssigkeit aus dem Glaskorper durch die Schwalbe-

sehen Lymphräume und Kanäle austreibt, zugleich den Druck auf den Glaskörper nach hinten vermehrt, nach vorn zu aber in der Peripherie der Oberfläche des Glaskörpers und der hinteren Kammer vermindert und hierdurch erst die geringe Lokomotion der Linse möglich macht«.

Ferner beobachtete Coccius (1868) »bei zwei bejahrten Personen, welche wegen chronischem Glaucom operiert waren, Linsenschwankungen bei Akkommodation für die Nähe, welches nach Atropin schwand«. Er glaubt, dass diese Erscheinung durch krankhafte Veränderung am Aufhängeband der Linse und zwar durch zu starke Ausdehnung der Zonula durch den früher vorausgegangenen intraocularen Druck beim Glaucom vielleicht zum Teil erklärt werden könne, dass diese Erklärung allein aber keinesfalls genüge«.

Es ist wohl möglich, dass Coccius etwas der von mir beschriebenen Erscheinung ähnliches gesehen hat. Seine Deutung der Beobachtung ist aber, ebenso wie die darauf gegründete Hypothese, unhaltbar.

Die Deutlichkeit und Stärke, mit welcher das Linsenschlottern auftritt, ist für verschiedene Personen sehr verschieden. Bei aufmerksamer Beobachtung wird man es selten ganz vermissen. In manchen Fällen ist es so stark, dass es sich auch auf die davor liegende Iris überträgt. Hat man einmal sein Augenmerk darauf gerichtet, so sieht man nicht selten an Leuten mit völlig normalen Augen und normaler Refraktion beim Fixieren des nahe vor das Auge gehaltenen Fingers leichtes Irisschlottern. Solche nach dem Mitgeteilten leicht verständliche Beobachtungen hat bald nach meiner ersten Veröffentlichung Reddingius beschrieben. Er giebt an, die Erscheinung nur bei 3 Kurzsichtigen gesehen zu haben; sie kommt aber nicht selten auch bei anderen Refraktionszuständen vor. Übrigens ist zu betonen, dass Irisschlottern noch keineswegs ein Schlottern der Linse beweist; es ist wohl denkbar, dass ein leichtes Schlottern, insbesondere der peripheren Iristeile, auch ohne Linsenschlottern vorkommt.

Vereinzelt konnte ich, auch an normalen Augen, bei zuckenden Augenbewegungen ohne Akkommodation ein leichtes Zittern des hinteren Linsenbildchens wahrnehmen. Doch wurde dies keineswegs regelmäßig beobachtet und war stets sehr gering im Vergleiche zu dem Schlottern nach Eserinwirkung oder bei stärkster Akkommodation. Dies scheint darauf hinzudeuten, dass auch im nicht akkommodierenden Auge die Linse nicht immer so unbeweglich befestigt ist, wie man es sich meist vorstellt. (Heine hat derartige Fälle später beschrieben und erörtert.)

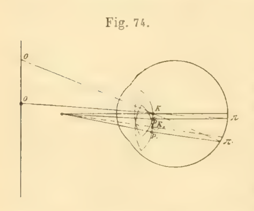
§ 97. Aus der obigen Darstellung geht hervor, dass das bei starker willkürlicher Akkommodation wahrnehmbare Linsenschlottern nur durch eine vollständige Erschlaffung der Zonula zu erklären ist. Auf diese für das Verständnis des Akkommodationsvorganges wichtige Thatsache ist eine Reihe von Erscheinungen zurückzuführen, welche hier angeführt werden mögen, soweit sie für die Klärung schwebender Streitfragen von Interesse sind und eine messende Untersuchung der geschilderten Vorgänge ermöglichen.

Bringt man ungefähr im vorderen Brennpunkte des Auges ein Diaphragma mit einem feinen Loche an, so erhält man bekanntlich ein entoptisches Bild der Pupille und des »Linsenspektrums«. Ich benutze zu vielen Beobachtungen eine der kleinen, punktförmigen, physiologischen Linsentrübungen, die bei Akkommodationsruhe ungefähr in der Mitte der Pupille liegt und als feiner, dunkler Punkt im entoptischen Bilde sichtbar wird: sie möge hier kurz als »Linsenpunkt« bezeichnet werden.

Beobachte ich bei geradeaus gerichtetem Blicke die Lage des erwähnten Punktes im entoptischen Bilde meiner Linse, so kann ich folgendes wahrnehmen: Wenn ich kräftig akkommodiere, so wird zunächst die Pupille enger; eine merkliche Zeit später, nachdem die Pupillenverengerung ihr Maximum erreicht hat, steigt plötzlich der Linsenpunkt, der bis dahin ruhig in der Mitte der Pupille gelegen hatte, nach oben, so dass er sich dem oberen Rande der entoptisch wahrgenommenen Pupille nähert. Entspanne ich die Akkommodation, so fällt der Punkt rasch wieder in die Pupillenmitte herunter, und erst eine kurze Zeit später erweitert sich die Pupille wieder.

Eine einfache Überlegung zeigt (s. Fig. 74), dass der scheinbaren Verschiebung des Linsenpunktes nach oben in Wirklichkeit eine Senkung der Linse entspricht. Ein Punkt, der in der Gegend der hinteren Linsenfläche etwas nach unten vom hinteren Pole, z. B. bei p liegt, wird bei Akkommodationsruhe in der Richtung $\pi\,ko$ gesehen. Senkt sich die Linse nach unten, so dass p nach p_1 sich verschiebt, so wird der Schatten des Punktes jetzt auf π_1 in der Netzhaut fallen. Wird die Netzhautstelle π_1 gereizt, so finden wir die Richtung, in welcher das zugehörige Objekt gesehen wird, indem wir von der gereizten Stelle durch den Knotenpunkt des Auges eine Gerade ziehen. Der Reizung der Netzhautstelle π_1 entspricht die Wahrnehmung eines in der Richtung $\pi_1 k o_1$ gesehenen Punktes: Wenn der Schatten des Linsenpunktes auf die Netzhautstelle π_1 fällt, so wird der Punkt in der Richtung $\pi_1 k o_1$ gesehen. Aus dieser Beobachtung folgt also, dass die Linse bei starkem Akkommodieren sich merklich nach unten verschiebt, bei Entspannung der Akkommodation wieder heraufrückt.

Fig. 74.



Neige ich bei Untersuchung meines rechten Auges den Kopf auf die rechte bezw. linke Schulter und akkommodiere jetzt, so steigt der Linsenpunkt gegen den jetzt nach oben gelegenen, also nasalen bezw. temporalen Pupillenrand. Senke ich den Kopf so weit nach unten, dass die

Stirn tiefer liegt als die Augen, so steigt beim Akkommodieren der Linsenpunkt gegen den jetzt nach oben, also wangenwärts gelegenen Pupillenrand. Neige ich den Kopf nur um 90° nach vorn, so dass die Iris in einer horizontalen Ebene liegt, so ändert der Linsenpunkt seine Lage zum Pupillenrande **nicht**, wenn ich akkommodiere.

Die Größe dieser entoptisch wahrgenommenen Pupillenverschiebung lässt sich unschwer ermitteln; hier mögen nur die wesentlichen Punkte der Berechnung kurz angedeutet werden. Kennt man die Lage des entoptisch wahrgenommenen Linsenbildes zur entoptisch gesehenen Pupille im ruhenden und im akkommodierenden Auge (was verhältnismäßig leicht ermittelt werden kann), so erhält man die Größe der scheinbaren Linsenverschiebung bei Projektion auf eine zur Blicklinie senkrechte Ebene:

Für die Strecke $\pi\pi_1$ Fig. 75 ergiebt sich $\pi\pi_1 = \frac{oo_1 \cdot \pi k}{ok}$. Setzen wir $\pi k = 15$ mm und wird $ok = 500$ mm gemacht, so ist $\pi\pi_1 = 0{,}03\, oo_1$. Wenn sich die Linse nach unten senkt, so verschiebt sich auf der Projektionsebene nicht nur das entoptische Bild des Linsenpunktes, sondern auch das der Pupille scheinbar nach oben. Die Strecke oo_1 entspricht also nicht der Gesamtverschiebung des Punktes o auf der Ebene, sondern ist um die Scheinverschiebung der Pupille kleiner. Denken wir uns das entoptische Bild der nach oben gerückten Pupille wieder mit dem der nicht verschobenen (im ruhenden Auge) zusammenfallend, so wird für einen in der Pupillenebene (z. B. auf der vorderen Linsenfläche) liegenden Punkt die Strecke $\pi\pi_1$ gleich sein der Strecke pp_1, um die sich der Punkt in der Pupillarebene gesenkt hat.

Fig. 75.

Die Größe der Linsensenkung ermittelt sich also für den Fall, dass der beobachtete Punkt in der Pupillarebene liegt, aus dem für oo_1 gefundenen Werte durch Multiplikation mit 0,03. Fig. 75 zeigt aber auch, dass gleich große Ortsveränderungen der Linse um so größere Scheinbewegungen des Punktes zur Folge haben müssen, je näher dieser der Pupillenebene liegt, dagegen um so kleinere, je weiter er nach hinten liegt. Die Scheinverschiebung ka_1 eines in k gelegenen Punktes ermittelt sich aus der Gleichung $\frac{ka_1}{pa} = \frac{kf}{pf}$; ist $fk = 12{,}13 + 7{,}1 = 19{,}23$ und $pf = 12{,}13 + 3{,}1 = 15{,}23$, so wird $ka_1 = 1{,}26\, pa$. Die wirkliche Senkung eines etwa in der Knotenpunktsebene liegenden Linsenpunktes berechnet sich also aus der scheinbaren Hebung nach der Gleichung $S = 1{,}26\, pa = 1{,}26 \cdot 0{,}03\, oo_1$.

Ich fand an meinen Augen bei stärkster willkürlicher Akkommodationsanstrengung eine durchschnittliche Verschiebung der Linse nach unten um ca. 0,28—0,3 mm.

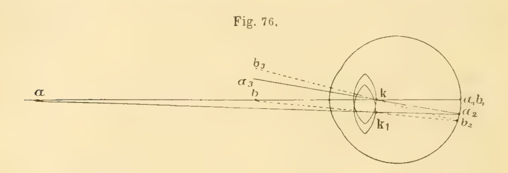
Das Herabsinken der Linse lässt sich, ebenso wie das akkommodative

Schlottern, auch objektiv nachweisen und messen. Derartige Versuche hat unter meiner Leitung Heine mittels eines Schöler-Mandelstamm'schen Hornhautmikroskopes bei 10—20 facher Vergrößerung vorgenommen. Bei starkem Akkommodieren wurde die Ortsveränderung der Linse = 0,25 mm gefunden.

Ich erwartete nach diesen Beobachtungen, dass die akkommodative Linsenverschiebung von Einfluss auf die scheinbare Lage von Objekten sein würde, die sich in verschiedener Entfernung vom Auge befinden.

Die Objekte a und b mögen eine solche Lage haben, dass sie bei Akkommodationsruhe in der gleichen Richtung gesehen werden, so dass also beide Bilder im Punkte $a_1 b_1$ der Netzhaut zusammenfallen. Sinkt die Linse so weit herab, dass der (ungefähr dem Orte des Knotenpunktes entsprechende Punkt k nach k_1 verschoben wird, so fällt nun das Bild des Punktes a nach a_2, das des Punktes b nach b_2, dem entsprechend werden die beiden Punkte jetzt gesondert über einander, in der Richtung a_3 bezw. b_3 gesehen werden.

Fig. 76.



Untersuchungen, die mit einem von mir angegebenen Apparate zur Prüfung dieser Voraussetzung von Heine (gemeinsam mit mir) angestellt wurden, ergaben deren Richtigkeit und ermöglichten auch auf diesem Wege die Größe der akkommodativen Ortsveränderung der Linse zu messen. Die Ergebnisse bestätigen die früher mitgeteilten Befunde.

§ 98. Alle bis hierher mitgeteilten Thatsachen lassen sich an normalen Augen bei willkürlicher Akkommodation beobachten. Weitere für das Verständnis des Akkommodationsvorganges wertvolle Befunde giebt die Untersuchung von Augen mit Irisdefekten sowie das Studium der Eserin- und Atropinwirkung. Die durch Eserineinträufelung im Auge hervorgerufenen Veränderungen sind ihrer Art nach in allen bisher bekannt gewordenen Beziehungen denjenigen bei willkürlichem Akkommodieren sehr ähnlich, nur viel höhergradig, als selbst bei maximalem, spontanem Akkommodationsimpulse.

Nach Einträufeln sehr geringer Eserinmengen tritt nicht ein dauernder Krampf des Ciliarmuskels ein, wohl aber genügt ein sehr kleiner Akkommodationsimpuls, um eine mehrere Sekunden dauernde maximale Ciliarmuskelkontraktion auszulösen. Fixiert der Beobachter einen nahen Gegen-

stand, so ist das während kleiner, zuckender Augenbewegungen sichtbare Linsenschlottern wesentlich ausgiebiger, als bei gewöhnlichem Akkommodieren. Schon geringe Akkommodationsimpulse bedingen ein Herabfallen der Linse um eine merklich größere Strecke, als bei Akkommodieren ohne Eserin.

Wird mehr Eserin eingeträufelt, so tritt eine dauernde maximale Ciliarmuskelkontraktion (bei sehr enger Pupille) ein. Das Linsenschlottern bei kleinen Augenbewegungen ist für die entoptische Beobachtung (die objektive Untersuchung ist wegen der engen Pupille erschwert oder unmöglich) sehr ausgiebig, auch ohne dass eine Akkommodationsanstrengung gemacht wird. Die enge Pupille wird bei Akkommodationsimpulsen nicht mehr merklich enger. Die Linse ist nach unten gesunken und ändert ihre Lage zum Pupillenrande bei Akkommodationsimpulsen nicht mehr. Neigt man aber, ohne zu akkommodieren, den Kopf auf die eine oder andere Seite, so fällt die Linse sofort gegen den jeweils nach unten gelegenen Teil des Ciliarkörpers. Diese Verschiebungen sind beträchtlich größer, als vor der Eserineinträufelung. Bei Neigung des Kopfes von der rechten auf die linke Schulter verschiebt sich während starker Eserinwirkung die Linse um annähernd 1 mm. Atropin hebt in ca. 10—15 Minuten diesen Ciliarmuskelkrampf wieder auf.

§ 99. Die Untersuchung der Augen mit (operativen oder traumatischen) Irisdefekten ist von großem Werte, weil in günstigen Fällen Linsenrand, Zonulafasern und Ciliarfortsätze der direkten Beobachtung zugänglich sind, ohne dass eine nennenswerte Störung in den physiologischen Funktionen des Akkommodationsapparates eingetreten wäre. Bereits 1855 hat Ruete gezeigt, dass Kranke mit Irideremie ausgiebiges Akkommodationsvermögen besitzen. Bekannt ist der v. Graefe'sche Fall von traumatischer Irideremie (1876), dem ähnliche von Argyll Robertson, von Hjort u. a. zur Seite gestellt werden können, wo trotz vollständigen Fehlens der Iris die Akkommodationsfähigkeit uneingeschränkt vorhanden war. Noch günstiger liegen die Verhältnisse nach Iridektomie aus optischen Gründen (Bäuerlein u. a.) oder gar, wenn eine solche an ganz normalen Augen vorgenommen wurde, wie in einem von mir untersuchten Falle, wo das Vorhandensein einer großen physiologischen Excavation anderwärts die Fehldiagnose Glaucom und die Vornahme mehrerer breiter Iridektomien veranlasst hatte (s. u.).

Die Angaben über das Verhalten der Ciliarfortsätze bei der Akkommodation gehen auffallend auseinander. A. v. Graefe konnte bei seinem oben erwähnten Falle »in der Lage und Form der Ciliarfortsätze während der Akkommodationsveränderung keinen Unterschied« konstatieren. O. Becker sah bei Albinotischen, »dass die Ciliarfortsätze . . . gegen die Sehachse vorrücken, wenn die Pupille sich beim Sehen in die Ferne oder auf Atropin erweitert, sich aber gegen den Ciliarkörper zurückziehen, wenn die Pupille

sich bei Akkommodationsanspannung oder auf Calabarextrakt verengert. Die Mehrzahl der anderen Beobachter, wie ROBERTSON, SATTLER, HJORT, BÄUERLEIN, LASKIEWICZ, WINTERSTEINER fanden bei Akkommodation, A. WEBER nach Eserineinträufelung, deutliches Vorrücken der Ciliarfortsätze. Auch die Frage, ob die Ciliarfortsätze beim Akkommodieren anschwellen oder nicht, wird verschieden beantwortet: WEBER, LASKIEWICZ-FRIEDENFELD, COCCIUS nehmen ein akkommodatives Anschwellen derselben an, BÄUERLEIN dagegen stellt solches bestimmt in Abrede.

Ich habe im Laufe der letzten Jahre mit Rücksicht auf diese Fragen eine größere Zahl von Iridektomierten genauer untersucht. Ich beobachtete die nach Eserineinträufelung wahrnehmbaren Veränderungen zum Teile bei durchfallendem Lichte mit dem Lupenspiegel nach HIRSCHBERG und MAGNUS (Planspiegel mit dahinter angebrachtem Konvexglase von ca. 20 D.), zum Teile bei auffallendem Lichte mit der v. ZEHENDER-WESTIEN'schen oder mit der DRÜNER-BRAUS'schen Binocularlupe. Die scheinbare Lage der Ciliarfortsätze beim Ophthalmoskopieren wechselt leicht mit kleinen Bewegungen des Auges oder des Beobachters. Bei einer bestimmten Stellung sieht man die Fortsätze etwas vorragen, weniger, wenn der Untersuchte sein Auge mehr nach der einen oder anderen Seite wendet. Bei geeigneten Vorsichtsmaßregeln lassen sich dadurch etwa veranlasste Täuschungen wohl vermeiden; doch ist nicht ausgeschlossen, dass die vorerwähnten Angaben v. GRAEFE's und BECKER's durch ungenügende Berücksichtigung solcher Scheinverschiebungen zu erklären sind.

Bei meinen Patienten ließ sich nach Eserineinträufelung ein deutliches Vorrücken der auch in Akkommodationsruhe sichtbaren Ciliarfortsätze gegen die Linse hin nachweisen. Bei den älteren Leuten näherten sie sich dem Linsenrande beträchtlich, indeß ohne mit ihm in direkte Berührung zu kommen. Bei jugendlichen Kranken konnte ich eine Verringerung des Abstandes zwischen Ciliarfortsätzen und Linsenrand häufig nicht feststellen. (SATTLER und BÄUERLEIN sahen an albinotischen Augen bei der Akkommodation den Zwischenraum zwischen Ciliarfortsätzen und Linsenäquator sogar größer werden.)

Besonders hervorzuheben ist, dass bei der Ciliarmuskelkontraktion die Ciliarfortsätze sich *vor* die Ebene des Linsenäquators, d. h. hornhautwärts von ihm, schieben, niemals aber in der Richtung nach hinten, oder auch nur bis zur Äquatorialebene der Linse selbst, wie SCHÖN und TSCHERNING annehmen. Ein *Anschwellen* der Ciliarfortsätze konnte ich nicht beobachten; vielmehr hatte ich stets den Eindruck, dass die gesehenen Veränderungen *allein* auf Verschiebung der Fortsätze, ohne nennenswerte Volumszunahme, zu beziehen seien.

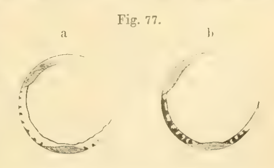
Die Zonulafasern sind bei der angegebenen Untersuchungsweise in vielen Fällen deutlich sichtbar: ich sah sie mehrfach nach Atropineinträufelung

als feine, gerade, dunkle Linien, nach Eserin erschienen sie zuweilen undeutlicher, wie verwaschen. (Bei Untersuchung im durchfallenden Lichte hatte schon COCCIUS einen Unterschied des Aussehens der Zonulafasern im ruhenden und im akkommodierenden Auge wahrgenommen.)

Über das Verhalten der äquatorialen Linsenteile bei Akkommodation findet sich in der Litteratur nur die Angabe, dass »der schwarze Linsenrand bei Akkommodation für die Nähe und nach Eserin breiter, bei Entspannung des Auges und Einträufeln von Atropin schmäler wurde« (ROBERTSON, BECKER, HJORT u. a.). Bei meinen Untersuchungen fand ich mehrfach auffällige Veränderungen des Linsenrandes und desjenigen Teiles der äquatorialen Linsenvorderfläche, an welchem sich die Zonulafasern anheften: Im atropinisierten Auge stellt sich der Linsenrand öfter als leicht wellenförmige, unregelmäßige Linie dar, während nach Eserineinträufelung statt dessen eine regelmäßigere, mehr der Kreisform sich nähernde Linie gefunden wird. In der Gegend der Anheftungsstelle der Zonulafasern an die Linsenkapsel sieht man am atropinisierten Auge oft sehr deutlich seichte Hügel und zeltähnliche Erhebungen, welche nach Eserin viel flacher werden oder ganz verschwinden.

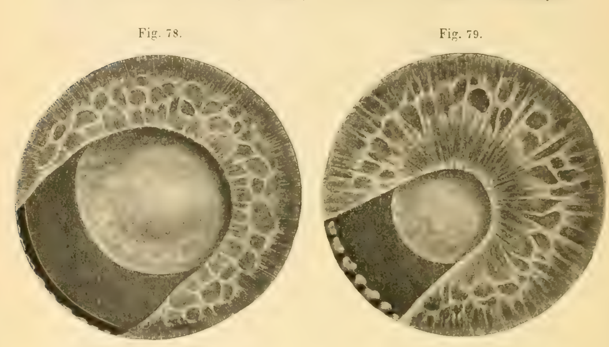
Als charakteristisches Beispiel für die geschilderten Veränderungen möge ein Fall hier etwas ausführlicher wiedergegeben werden: Frau H., 60 J. alt, vor 7 Jahren wegen Verdacht auf Glaucom mehrfach iridektomiert, hat bei leicht myopischem Astigmatismus und beginnendem Star mit korrigierenden Gläsern eine Sehschärfe von $^6/_{12}$–$^6/_9$, freies Gesichtsfeld, keine Spur von glaucomatösen Veränderungen am Auge. Von der Iris des linken Auges ist nur ein schmaler Rest nach unten und nach innen oben zu sehen. Im Ruhezustande des Auges wird bei nach rechts unten gewendetem Blicke der Linsenrand deutlich sichtbar; gegenüber ragen die Ciliarfortsätze mit ihren Kuppen eben über den Corneoscleralrand vor (Fig. 77 a). Die Zonulafasern sind deutlich zu sehen, die Linse ändert bei Bewegungen des Auges nicht ihre Lage zur Umgebung. Der Linsenrand und die vordere Linsenfläche nahe dem Äquator zeigen eine Menge flacher, zum Teile zeltförmiger Erhebungen und seichter Vertiefungen. Träufelt man Eserin ein, so sieht man nach kurzer Zeit (Fig. 77 b), die Ciliarfortsätze dem Linsenrande sich so stark nähern, dass viele ihn direkt zu berühren scheinen. Die Zonulafasern sind nur noch undeutlich zu sehen als unbestimmte, verwaschene Streifen. Der Linsenrand erscheint weniger wellig, die Erhebungen an der vorderen Linsenfläche sind kaum mehr zu sehen. Starkes Linsenschlottern bei jeder Bewegung des Auges. Nach Atropineinträufelung hört die Eserinwirkung und mit ihr das Schlottern binnen 10 Minuten wieder vollständig auf, die Erhebungen am Linsenrande werden deutlicher, die Ciliarfortsätze weichen weit zurück. So lange die Eserineinwirkung währt, sieht man bei seit-

Fig. 77.



licher Beleuchtung die Ciliarfortsätze als braune Kuppen vor dem Linsenäquator in unmittelbarer Nähe der vorderen Linsenfläche. Auffällig ist ferner die Erscheinung, dass bei vorwärts geneigtem Kopfe das Linsenschlottern nur schwach, bei rückwärts geneigtem Kopfe dagegen besonders stark erscheint. Die leichte Anspannung der Zonulafasern durch das Gewicht der Linse bei vorwärts geneigtem Kopfe genügt offenbar, um das Schlottern merklich zu dämpfen.

Fig. 78. Fig. 79.



Bei rückwärts geneigtem Kopfe liegt die Linse nach Entspannung der Zonula auf der Fossa patellaris des Glaskörpers und ist hier besonders leicht beweglich. (Nach der Fig. 77b könnte es scheinen, als ob die Ciliarfortsätze den Linsenrand wirklich berührten. Diese Täuschung ist dadurch bedingt, dass sie sich vor den Linsenäquator vorgeschoben haben. Dazu kommt im vorliegenden Falle noch das beträchtliche Heruntersinken der Linse.

Die Abbildungen Fig. 78 und 79 zeigen möglichst getreu die Ciliarfortsätze eines 24jährigen, wegen Schichtstars Iridektomierten, das einemal nach Atropin-, das andremal nach Eserineinträufelung. Veränderungen des Linsenrandes waren in diesem Falle nicht ausgesprochen zu sehen.)

Diese klinischen Beobachtungen am menschlichen Auge sind unter anderem bestätigt worden durch anatomische Befunde, die Heine 1899 in meinem Laboratorium am Affenauge erhoben hat, indem er den durch Eserin in starke Kontraktion versetzten Ciliarmuskel zur mikroskopischen Untersuchung fixierte. Kurz vorher war eine ähnliche Beobachtung von Alessandro mitgeteilt worden. Man sieht auch hier im eserinisierten Auge eine deutliche Verschiebung des Ciliarmuskels nach vorn und hornhautwärts. Die Fixierung der ruhenden bezw. akkommodierten Linse ist bisher noch nicht gelungen.

§ 100. Nach dem vorstehenden kann es, insbesondere auch im Hinblicke auf den schon oben erwähnten Hensen-Völckers'schen Nadelversuch, nicht wohl zweifelhaft sein, dass beide Portionen des Ciliarmuskels, die äußere, Brücke'sche und die innere, Müller'sche, in gleichem Sinne wirken: die Kontraktion einer jeden von beiden bedingt Vorrücken der Ciliarfortsätze **und Entspannung der Zonula.**

Dass der Ciliarkörper muskulöse Gebilde enthalte, ist seit langem angenommen worden. Haller giebt an, dass Kepler »id corpus tanquam musculum mobilem lenti crystallinae impositum credebat oculum longiorem reddere«. Eustachius bringt in einer Abhandlung aus dem Jahre 1722 eine Abbildung, welche zeigt »Pupillam cum crystallino humore et ligamento seu musculo ciliari«. Auch Briggs, Bidloo, Wedelius, Morgagni, Porterfield u. a. sprechen von Muskelfasern im Ciliarkörper, während Zinn dieser Annahme nachdrücklich widerspricht. 1846 beschrieb Brücke den »musculus tensor chorioideae«, der fast gleichzeitig von Bowman gefunden wurde. 1856 entdeckte H. Müller die innere, circulare Muskellage.

Nach den bisher mitgeteilten Befunden über die Verschiebungen der Linse bei der Akkommodation musste man an die Möglichkeit denken, dass auch in der Richtung der Augenachse selbst, also von vorn nach hinten, der Linse ein gewisser Spielraum zur Bewegung zur Verfügung stehe. Wenn sie zwischen Glaskörper und Iris gewissermaßen eingekeilt wäre, wie man sich das wohl vielfach vorstellt, dann wären auch nennenswerte seitliche Verschiebungen nicht möglich. Es war also theoretisch denkbar, dass bei entspannter Zonula und vorwärts geneigtem Kopfe der Linsenscheitel sich der Hornhaut nähern, bei rückwärts geneigtem sich von ihr entfernen könnte.

Zur Untersuchung der Frage prüfte ich die Lage meines Nahepunktes nach Eserineinträufelung bei gesenktem und bei gehobenem Kopfe. Wenn eine merkliche Verlagerung der Linse in dem angedeuteten Sinne statt hat, so muss dieselbe in einer Verschiebung des Nahepunktes zum Ausdrucke kommen. Wenn bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen die Linse sich der Hornhaut nähert, bezw. von ihr entfernt, so wird die Refraktion des **Auges erhöht, bezw. herabgesetzt.** (s. o.)

Es ergab sich, dass bei starker Akkommodationsanstrengung der Nahepunkt bei gesenktem Kopfe dem Auge etwas näher lag, als bei gehobenem, während der Fernpunkt bei gehobenem und gesenktem Kopfe an derselben Stelle blieb, seine Lage also unabhängig von der Kopfhaltung war. Die Akkommodationsbreite war somit bei gesenktem Kopfe ein wenig größer, als bei gehobenem. Messende Versuche ergaben, dass z. B. in meinem akkommodierenden Auge die Refraktion bei gesenktem Kopfe um ca. 0,34—0,43 Dioptrien höher war, als bei gehobenem Kopfe, woraus sich berechnet, dass während stärkster Akkommodation der Linsenscheitel bei

gesenktem Kopfe der Hornhaut um etwa 0,15 mm näher lag, als bei gehobenem. Nach Eserineinträufelung ist der Unterschied noch etwas größer. Ähnliche Werte fanden sich bei einigen Kollegen. Es scheinen in dieser Hinsicht größere individuelle Schwankungen vorzukommen. Wenigstens hat KOSTER mit ähnlicher (aber nicht ganz gleicher) Versuchsanordnung an seinen Augen keinen Unterschied zwischen der Nahepunktslage bei gehobenem und bei gesenktem Kopfe gefunden.

Durch das Herabsinken der Linse wird eine Änderung in der Centrierung des optischen Systems hervorgerufen, die groß genug ist, um bei passender Versuchsanordnung die Erscheinungen der Farbenstereoskopie in der früher geschilderten Weise zu beeinflussen (vgl. § 56).

§ 101. Die zahlreichen Erörterungen über den Einfluss der Akkommodation auf den intraocularen Druck haben zu den widersprechendsten Ergebnissen geführt. Auf Grund experimenteller Untersuchungen wie theoretischer Spekulationen wurde auf der einen Seite eine akkommodative Drucksteigerung im Auge mit aller Bestimmtheit behauptet, auf der anderen ebenso bestimmt in Abrede gestellt.

Die ersten Versuche einer experimentellen Bestimmung des intraocularen Druckes bei der Akkommodation stellten HENSEN und VÖLCKERS an. Ursprünglich gaben sie an, dass »eine Änderung des manometrisch bestimmten Druckes bei der Akkommodation weder in Augenkammer noch in Glaskörper angezeigt wurde, obgleich leise Berührung des Auges sich sofort durch Schwankung der Wassersäule verriet.« Später aber erklärten sie diese Versuche für nicht beweisend, da die Fehlerquellen »viel zu große« gewesen seien. Auch einige tonometrische Versuche gaben ihnen keine befriedigende Resultate. Bei Besprechung des Mechanismus der Akkommodation nehmen HENSEN und VÖLCKERS an, dass während der Akkommodation »der Druck in der vorderen Kammer momentan herabgesetzt, die Spannung im Glaskörper aber vermehrt werde«.

v. HIPPEL und GRÜNHAGEN fanden, dass an ausgeschnittenen Katzenaugen »starke tetanisierende Ströme, die durch die Ciliarportion geschickt waren, keine durch Maßeinheiten einer Quecksilbersäule bestimmbare Wirkung, zum mindesten in Bezug auf den Druck in der vorderen Kammer«, hatten. »Die Hg-Säule unseres Manometers blieb ferner unbewegt stehen, wenn Calabarlösung in das untersuchte Auge gebracht wurde, trotzdem, dass die bekannte Wirkung dieses Myoticums selbst bei unseren curarisierten Thieren mit gewöhnlicher Intensität hervortrat«. Sie schließen aus ihren Beobachtungen, »dass dem Ciliarmuskel ebensowenig wie dem Sphincter pupillae ein Einfluss auf den Augendruck überhaupt zugeschrieben werden kann« und dass »der Druck im Glaskörper weder durch Atropin noch durch Calabar wesentlich modifiziert wird.«

Die neueren Forscher neigen in großer Zahl der Ansicht zu, dass Kontraktion des Ciliarmuskels intraoculare Drucksteigerung herbeiführe. Insbesondere ist diese Auffassung von Fick und Gürber vertreten worden, die von der Meinung ausgingen, »dass, wenn sich der Ciliarmuskel zusammenzieht, der muskulöse Aderhautsack einem kleineren Rauminhalt zustreben muss, was notwendigerweise den Druck im Glaskörper erhöhen muss«.

Sattler fand bei einigen Versuchen an Katzen und Hunden, dass »jedesmal mit dem Durchgehen des elektrischen Stromes durch die Ciliarnerven oder das Ganglion ciliare eine ausgesprochene Drucksteigerung eintrat, um 2, 3 bis 4 mm.«

Die Forscher, welche sich bei dieser Frage nicht auf eigene experimentelle Untersuchungen stützen, insbesondere viele Kliniker, nehmen zumeist auf Grund theoretischer Erwägungen an, dass während der Akkommodation der Glaskörperdruck steige, der Kammerdruck aber sinke. Neuerdings haben die Anhänger der Hypothese von der vermehrten Spannung der Zonula bei der Akkommodation diese Ansicht in besonders nachdrücklicher Weise vertreten.

Auch der Verengerung und Erweiterung der Pupille an sich wird von verschiedenen Forschern ein Einfluss auf die Höhe des intraocularen Druckes zugeschrieben. Es sind hier vor allem die Versuche von Höltzke und Graser zu erwähnen, nach welchen Erweiterung der Pupille eine Erhöhung des Kammerdruckes, Verengerung dagegen eine Erniedrigung desselben zur Folge haben soll. Umgekehrt nehmen Hensen und Völckers an, dass möglicherweise die Verengerung der Pupille bei der Akkommodation erst Folge des herabgesetzten Druckes sei.

Um ein Beispiel von der praktischen Tragweite dieser Fragen zu geben, erwähne ich die verbreitete Annahme, dass die akkommodative Überanstrengung, wie die zahlreichen und zuverlässigen Beobachter von Coccius und v. Graefe an bis zu Iwanoff und Schön bewiesen haben, zu einer Erhöhung des intraocularen Druckes führt (Mooren). Die unter den Fachgenossen noch immer verbreitete Scheu, Kurzsichtigen auch bei nicht sehr hohen Graden von Myopie die vollkorrigierenden Gläser zu verordnen, ist zum großen Teile darauf zurückzuführen, dass man dem kurzsichtigen Auge jede Akkommodation ersparen zu müssen glaubt, hauptsächlich wegen der Gefahr der damit verbundenen Drucksteigerung.

Zunächst ist die Frage zu beantworten, ob und in welcher Weise das gegenseitige Verhältnis des intraocularen Druckes im vorderen und hinteren Augenabschnitte bei der Akkommodation sich ändert. Förster, Donders, Nagel, Coccius, A. Weber, Schön, Tscherning u. a. sind der Meinung, dass während der Akkommodation der Druck im hinteren Augenabschnitte erhöht, im vorderen vermindert werde. Dagegen vertreten Leber, Höltzke, Monnik, Boedecker u. a. die Ansicht, dass während der Akkommodation keine merkliche Druckdifferenz zwischen beiden Abschnitten auftrete. Die Anhänger

der ersteren Auffassung stützen sich zum Teile auf rein theoretische Erwägungen, zum Teile auf die Beobachtungen von Förster, der bei Kranken mit aufgehobener vorderer Kammer während der Akkommodation ein leichtes Einsinken der an einer Stelle stark verdünnten Cornea beobachtete, während bei Entspannung der Akkommodation die Einsenkung sich wieder vorwölbte, was auf eine Verminderung des Druckes in der vorderen Kammer während der Akkommodation bezogen wurde. In diesen Angaben sehen insbesondere auch Schön und Tscherning eine Stütze für ihre Ansichten. Sie können aber für die vorliegende Frage schon deshalb nicht in Betracht kommen, weil jene Erscheinung sich auch nach Lähmung des Ciliarmuskels durch Atropin zeigte. Ferner sind aber alle derartigen Versuche auch deshalb unrein, weil mit der Akkommodationsanstrengung stets eine Convergenzinnervation verknüpft ist, die Kontraktion der äußeren Augenmuskeln aber den intraocularen Druck bekanntlich beträchtlich steigern kann. So müsste bei Förster's Fällen die akkommodative Druckverminderung in der vorderen Kammer selbst bei Akkommodationslähmung noch größer gewesen sein, als die Drucksteigerung infolge der Convergenz!

Auch Donders ist der Meinung, »dass beim Akkommodieren für die Nähe der Druck im hinteren Abschnitte des Auges vermutlich vermehrt sei, in der vorderen Augenkammer dagegen verringert sein könne.« Ebenso sagt Nagel: »Der Druck im hinteren Bulbusabschnitte wird bei der Akkommodation aller Wahrscheinlichkeit nach vermehrt und damit scheint sich eine Herabsetzung des Druckes im vorderen Abschnitte des Bulbus zu verbinden. Zwar der exakte Nachweis durch Manometer und Tonometer hat für keines von Beiden bisher geführt werden können.« Nagel sah in den durch kräftige Akkommodationsanspannung bedingten entoptischen Erscheinungen einen Beweis für die Zunahme des Druckes im hinteren Abschnitte des Auges. Endlich ist auch Coccius, der bei starker Akkommodation ein »Schwanken des hinteren Linsenbildchens« gesehen, aber auf ein »Glaskörperschwanken« bezogen hat, der Ansicht, dass der Glaskörperdruck während der Akkommodation erhöht sei: »das Atropin vermindert den Druck nach hinten, Eserin vermehrt den Druck nach hinten«.

Unter den Vertretern der gegenteiligen Auffassung schreibt Leber: »Ein direkter Einfluss der Kontraktion des Ciliarmuskels und der Irismuskulatur auf die Höhe des Augendruckes ist nicht nachzuweisen«. Er erwähnt Adamük's Versuche mit zwei Manometern, von welchen einer in die vordere Kammer, der andere in den Glaskörper eingeführt wurde: es zeigte sich kein Unterschied zwischen beiden. Weiter sagt Leber: »Der Druck im Glaskörper und im Kammerraume muss nicht notwendig und nicht immer gleich hoch sein, weil das sie trennende Diaphragma einer gewissen Spannung fähig ist. Gerät nämlich dieses Diaphragma in Spannung, so muss es einen Teil des Druckes tragen und derselbe wird dann auf der einen Seite höher

sein, als auf der anderen, . . . doch scheinen wenigstens im physiologischen Zustande keine große Verschiedenheiten des Druckes in beiden Räumen vorzukommen«.

Monnik fand beim Einpressen von Wasser in den Glaskörperraum an frisch exstirpierten Augen, dass der Druck in der vorderen Kammer gleichzeitig mit dem Glaskörperdrucke anstieg, und dass das beide Räume trennende Diaphragma auch bei sehr hoher Spannung nicht mehr als etwa 1—3 mm Quecksilberdruck von derselben trug. Höltzke schließt aus seinen manometrischen Untersuchungen, dass nach Einträufeln von Mioticis und Mydriaticis der Glaskörperdruck stets fast genau gleich sei mit dem Kammerdrucke. Seine, sowie Adamük's Angaben wurden neuerdings von Koster mit verbesserten manometrischen Methoden bestätigt.

Die Frage, ob im menschlichen akkommodierenden Auge ein Unterschied zwischen Glaskörperdruck und Kammerdruck vorkomme, beantwortet Höltzke dahin, dass, »selbst wenn durch rein mechanische Muskelwirkung der Druck im Glaskörper während der Akkommodation erhöht wird, dieser Überdruck sofort durch ein Vorrücken der Linse ausgeglichen wird«. Dagegen ist zu bemerken, dass ein solches Vorrücken niemals beobachtet ist, ja, dass sogar von einzelnen Beobachtern (Tscherning) ein Zurückweichen der hinteren Linsenfläche bei der Akkommodation beschrieben wird.

Meine oben mitgeteilten Beobachtungen gestatten die Streitfrage endgiltig dahin zu entscheiden, dass auch bei stärkstem Akkommodieren im normalen Auge keine Druckdifferenz zwischen vorderem und hinterem Bulbusabschnitte auftreten kann. Denn wenn bei einfachem Akkommodieren die Linse im Zonularraume nach unten sinken kann, wenn sie bei Bewegungen des Auges schlottert, so schließt dies selbstverständlich das Vorhandensein selbst sehr geringer Druckdifferenzen zwischen beiden Räumen mit Sicherheit aus.

Doch bleibt dabei die Frage noch unentschieden, ob und in welcher Weise etwa der gesamte intraoculare Druck im Glaskörper und in der vorderen Kammer durch die akkommodative Kontraktion des Ciliarmuskels und durch das Spiel der Pupille beeinflusst werden kann. Alle früheren Tierversuche über den Einfluss der Ciliarmuskelkontraktion auf den intraocularen Druck waren nur bei Hunden und Katzen, zum großen Teile sogar bloß an herausgeschnittenen Augen vorgenommen worden. Man setzte voraus, dass die Akkommodation bei diesen Tieren in ganz ähnlicher Weise vor sich gehe und durch Miotica und Mydriatica in gleicher Weise beeinflusst werde, wie beim Menschen. Nun sind aber in den letzten Jahren Thatsachen bekannt geworden, die mit dieser Voraussetzung nicht in Einklang stehen. **Höltzke** fand, dass am Katzenauge weder durch Muscarin, noch durch Physostigmin, noch durch Pilocarpin ein Akkommodationskrampf, eine Erhöhung der Brechkraft eintritt, die sich mit dem Ophthalmoskop nachweisen ließe. »Nach diesen Versuchen, welche mit der größten Sorgfalt angestellt wurden, einmal auch mit der Vorsicht, dass, um die

eine Spiegeluntersuchung erschwerende und zeitweilig unmöglich machende Miosis auszuschließen, der Augengrund durch eine künstlich durch Iridektomie vergrößerte Pupille beobachtet wurde, muss ich es als sehr zweifelhaft hinstellen, ob Katzen überhaupt zu akkommodieren imstande sind«. Sattler citiert dagegen eine im Anschlusse hieran gemachte Bemerkung von Hans Virchow, dass Hunde, die bei der anatomischen Untersuchung einen kräftig entwickelten Ciliarmuskel zeigen, wie man wisse, doch ein außerordentlich scharfes Akkommodationsvermögen haben müssten. Sattler selbst aber fand, dass Eserin weder bei Hunden noch bei Katzen eine Refraktionserhöhung hervorzurufen im stande sei. Ich konnte diese Angaben bei mehreren Hunden und Kaninchen bestätigen.

Die Versuche von Völckers und Hensen haben zwar den Beweis erbracht, dass eine Ciliarmuskelkontraktion bei den genannten Tieren vorkommt, nach den oben angeführten Beobachtungen erschien es aber ungewiss, ob damit auch eine nennenswerte Refraktionserhöhung verbunden ist. Zu einwandfreier Untersuchung des Gegenstandes musste erst festgestellt werden, ob und in welchem Umfange bei Hunden und Katzen Ciliarmuskelkontraktion zu Refraktionserhöhung führt.

§ 102. Eine größere Versuchsreihe, die ich zusammen mit Dr. Heine im Verlaufe meiner Arbeiten über den Akkommodationsvorgang angestellt habe, führte zu dem Ergebnisse, dass unsere gebräuchlichen Versuchstiere, Hunde, Katzen und Kaninchen (auch in der Jugend) im Vergleich zum Menschen nur eine geringe Akkommodationsbreite besitzen. Reizung des Ganglion ciliare nach Hensen und Völckers ergab auch bei jungen Hunden nur eine Refraktionszunahme um 1 bis 2,5 D.; ebenso groß war sie bei einem jungen Wolfe. Lokale elektrische Reizung am Äquator des Auges hatte bei Hunden in einigen Fällen etwas größere Refraktionszunahme zur Folge, als Reizung vom Ganglion aus. Bei den Katzen, unter denen sich auch sehr junge Tiere befanden, betrug die Refraktionszunahme in der Regel nicht mehr als 2,0 D. Überhaupt nicht nachweisbar war der Einfluss der lokalen elektrischen Reizung auf die Refraktion beim Kaninchen. (Priestley Smith fand in Kaninchenaugen akkommodative Refraktionserhöhung bis zu ca. 4 D.)

Mit dem Nachweise des geringen Akkommodationsvermögens der fraglichen Tiere war der Wert der bisherigen Untersuchungen über den Einfluss der Akkommodation auf den intraocularen Druck, soweit diese ein negatives Ergebnis hatten, wesentlich beeinträchtigt. Wenn eine akkommodative Drucksteigerung bei jenen Tieren etwa manometrisch sich nicht nachweisen ließ, so durfte daraus nicht ohne weiteres auf gleiches Verhalten in dem mit so viel größerer Akkommodationsfähigkeit ausgestatteten Menschenauge geschlossen werden. Wir stellten daher weitere Untersuchungen an

Affenaugen an, die sich nach unseren Beobachtungen den menschlichen sehr ähnlich verhalten. Einträufelung einiger Tropfen Eserin rief bei mehreren angenähert emmetropischen Affen innerhalb 5—10 Minuten starke Miosis und eine skiaskopisch nachweisbare Myopie von 10—12 Dioptrien hervor. Ebenso konnte nach Anlegen von Elektroden an die Sclera durch Reizung mit mäßig starken Strömen Myopie von 10 Dioptrien und mehr hervorgerufen werden. Damit war die Möglichkeit gegeben, die Frage nach dem Einflusse der Akkommodation auf den intraocularen Druck unter Bedingungen in Angriff zu nehmen, welche jenen im menschlichen Auge ähnlich genug sind, um die dort gewonnenen Ergebnisse auf dieses übertragen zu dürfen. Außerdem stellten wir noch Versuche an Tauben an, die gleichfalls eine große Akkommodationsbreite (von 10—12 Dioptrien) haben und bei welchen der Mechanismus der Akkommodation nach den Untersuchungen von Beer und von Heine sich der v. Helmholtz'schen Theorie entsprechend abspielt.

Bei allen Versuchen wurde der Druck in der vorderen Kammer gemessen, denn nach dem früher Gesagten ist es genügend festgestellt, dass dieser dem Drucke im Glaskörper unter physiologischen Verhältnissen, insbesondere auch während starker Akkommodation, gleich ist und daher ein getreues Bild des gesamten intraocularen Druckes giebt. (Zudem würde gegen die Einführung einer, notwendiger Weise verhältnismäßig dicken, Glaskörperkanüle der Einwand zu beträchtlicher Alteration der physiologischen Verhältnisse des Ciliarmuskels gemacht werden können, während die Einführung der feinen Kanüle in die vordere Kammer einen verhältnismäßig kleinen Eingriff darstellt, der auf die hier in Betracht kommenden Umstände bei geeigneter Versuchsanordnung kaum einen störenden Einfluss haben kann.)

Es zeigte sich regelmäßig, dass während der Reizung die im Ruhezustande leicht hypermetropische Refraktion des Auges myopisch wurde, und dass eine im Äquator des Auges eingestochene Nadel deutlichen Ausschlag im Sinne einer beträchtlichen Kontraktion des Ciliarmuskels gab, ohne dass im Stande der jede pulsatorische intraoculare Druckschwankung wiedergebenden Quecksilbersäule die geringste Änderung eintrat.

Zu gleichen Ergebnissen führten Versuche an curarisierten Tieren, bei welchen die Augen in ihrer normalen Verbindung mit der Orbita blieben. Einige Beobachtungen konnten an nicht narkotisierten Tauben vorgenommen werden, ohne dass reflektorische Bewegungen auftraten. Bei etwas stärkeren Strömen reagierte das Tier im Augenblicke des Stromschlusses mit einer mehr oder weniger heftigen Zuckung, die in der Regel momentanes Steigen des Hg um 1—2 mm zur Folge hatte. Sofort aber, während der Strom noch durch das Auge ging, kehrte das Hg auf die frühere Höhe zurück, sobald das Tier aufhörte, sich zu bewegen. Das Öffnen des Stromes, das von keinerlei Bewegung seitens des Tieres begleitet war, hatte auf den Stand des Quecksilbers keinen Einfluss. Auch diese Versuche zeigen, dass Kontraktion des Ciliarmuskels

nicht den geringsten Einfluss auf die Höhe des intraocularen Druckes hat. Sie sind besonders beweiskräftig dadurch, dass sie an Tieren mit kräftig entwickeltem Akkommodationsvermögen ohne Narkotica, ohne Curare und ohne Durchtrennung irgend eines Augenmuskels an einem bis auf die Resektion der Lider intakten Auge angestellt wurden, und dass während der Reizung auch hier die akkommodative Refraktionserhöhung objektiv nachgewiesen werden konnte.

Schließlich möge noch eine an menschlichen Augen angestellte Beobachtung kurz erwähnt werden. Um unter möglichst günstigen Versuchsbedingungen einen etwaigen Einfluss starker Ciliarmuskelkontraktion auf Netzhaut- und Aderhautcirculation untersuchen zu können, gingen wir in der folgenden Weise vor: Die Pupille eines normalen Auges wurde zunächst durch Homatropin stark erweitert. Danach wurde ein Tropfen Eserin eingeträufelt. Das Eserin wirkt dann nach wenigen Minuten auf den Ciliarmuskel in der Weise ein, dass ein sehr geringer Akkommodationsimpuls mit entsprechend geringer Convergenz maximale Kontraktion des Ciliarmuskels bei weiter Pupille auslöst. Die weite Pupille gestattet ein genaues Untersuchen des Augenhintergrundes (im aufrechten Bilde mit entsprechend starken Konkavgläsern) während einer beträchtlich größeren Ciliarmuskelkontraktion, als sie unter physiologischen Verhältnissen vorkommt. Zugleich ist der störende Einfluss der Kontraktion der äußeren Augenmuskeln so gut wie vollständig ausgeschaltet, da die maximale Ciliarmuskelkontraktion schon bei sehr geringem Akkommodationsimpuls, also sehr geringer Kontraktion der äußeren Augenmuskeln eintritt. Trotz dieser günstigen Bedingungen konnten wir bei maximaler Ciliarmuskelkontraktion weder in der Füllung der Netzhautgefäße, noch in der Färbung des Hintergrundes eine Änderung wahrnehmen. Alle diese Versuche zeigen, dass der intraoculare Druck durch Kontraktion des Ciliarmuskels nicht erhöht wird.

Angestrengtes Akkommodieren ruft bei manchen Menschen gewisse subjektive Lichterscheinungen hervor, die hier zu besprechen sind, da man sie vielfach mit akkommodativer Steigerung des intraocularen Druckes in Zusammenhang bringt (Nagel u. a.).

Die erste Beschreibung der Erscheinung finde ich bei Purkinje (1819): »Wenn ich vor einer hellweißen Fläche das Auge zum Nahesehen einrichte, so, wie wenn ich in die nächstmögliche Nahe sehen wollte, so erscheint mir in der Mitte des Gesichtsfeldes ein weißer, durchsichtiger Kreis mit einer braunlichen, halbdurchsichtigen, unbestimmt begrenzten Umgebung. Lasse ich nun das Auge frei, so verschwindet der Fleck und die weiße Fläche ist an der Stelle lichter als anderwärts. Komme ich dem nahesehenden Auge noch durch einen Druck an irgend einer Seite des Augapfels zu Hilfe, so wird der Fleck dunkelbraun und undurchsichtig und hat eine lichtviolette, halbdurchsichtige Umgebung, indes der weiße Kreis in der Mitte noch immer stehen bleibt, nur bekommt er bei noch mehr verstärktem Drucke einen braunen Fleck in der Mitte, oder er verschwindet gar und man sieht nur einige weiße Fleckchen an seiner Stelle.«

Im großen und ganzen lauten die meisten Beschreibungen der späteren Beobachter (Czermak, Balogh, Landois, Helmholtz, Aubert, Nagel) der Purkinje'schen ähnlich. Es ist nach dem oben Gesagten nicht mehr angängig, die Erscheinung auf eine akkommodative Drucksteigerung im Auge zurückzuführen, wohl aber ist nicht ausgeschlossen, dass die mit angestrengter Akkommodation verknüpfte starke Convergenz in manchen Augen eine zur Erzeugung der fraglichen Erscheinung genügende Steigerung des intraocularen Druckes bedingt. Ich selbst kann trotz jahrelanger Übung im willkürlichen starken Akkommodieren niemals hierdurch allein die geschilderte Erscheinung hervorrufen; wohl aber sehe ich bei mäßiger Steigerung der intraocularen Spannung durch Druck mit dem auf das Auge gelegten Finger einen dunklen Fleck im fovealen Bezirke. Nach Reddingius soll der Akkommodationsfleck im homatropinisierten Auge nicht auftreten.

Eine zweite hierher gehörige Erscheinung ist unter dem Namen des Czermak'schen »Akkommodationsphosphenes« bekannt. Czermak schildert es mit folgenden Worten: »Wenn ich im Finstern die Augen willkürlich auf ihren Nahepunkt einstelle und dann ganz plötzlich mit der fühlbaren und bedeutenden Anstrengung fürs Nahesehen nachlasse, so sehe ich, wie Purkinje zuerst angab, einen schmalen und ziemlich scharf begrenzten feurigen Ring von bedeutendem Durchmesser nahe an der äußersten Grenze des gemeinschaftlichen Sehfeldes aufleuchten«. Czermak zieht daraus den Schluss, dass es Augen giebt, in welchen eine nahe hinter der Ora serrata gelegene ringförmige Netzhautzone bei dem plötzlichen Übergang der »einrichtenden und eingerichteten Teile« des Akkommodationsapparates aus ihrer positiven Einrichtung (für die Nähe) in ihre Anordnung für den ruhenden, relativ fernsichtigen Zustand, einer lokalen Zerrung (Phosphen) ausgesetzt ist«. Die Erscheinung wird nur von verhältnismäßig wenigen Beobachtern wahrgenommen; mir selbst gelingt es auf keine Weise, sie bei mir hervorzurufen. Purkinje nahm sie auch bei Nachlassen gleichmäßigen Druckes auf das Auge wahr. Berlin, nach dessen Messungen (1874) das Phosphen einer zwischen 9 und 11,5 mm hinter dem Äquator gelegenen Netzhautstelle entspricht, glaubt dasselbe auf eine Verschiebung der Netzhaut (nach rückwärts) beziehen zu sollen. Nagel sah ein ähnliches Phänomen beim Beginn starker Akkommodationsspannung. Der Zusammenhang der Erscheinungen mit dem Akkommodationsapparate wird durch ihr Ausbleiben nach Atropinisierung der Augen sehr wahrscheinlich gemacht.

§ 103. Helmholtz hatte aus den von ihm, Cramer und Langenbeck gefundenen Thatsachen folgende Ansicht über den Mechanismus der Akkommodation hergeleitet: »Die Krystalllinse ist ein elastischer Körper, der bei Entspannung der inneren Augenmuskeln durch den Zug der an

ihrem Rande sich anheftenden Zonula in radialer Richtung gedehnt und daher in Richtung ihrer Symmetrieachse etwas zusammengezogen ist . . . . Die in Richtung der Meridiane des Auges verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche am hinteren Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, werden bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut und Glashaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen und dadurch die Spannung der Zonula und ihren Zug gegen die Peripherie der Linse aufheben müssen, so dass infolge davon die Linse in Richtung ihrer Durchmesser sich zusammenziehen, in Richtung ihrer Achse sich verdicken wird. Dadurch wird auch notwendig die Wölbung ihrer beiden Flächen vergrößert werden«.

Die Elasticität der Linse ist hauptsächlich ihrer Kapsel zu verdanken, denn wenn die Kapsel abgestreift ist, zeigen die oberflächlichen Schichten der Linse mehr eine schleimige als eine gallertige Konsistenz und haben kein Bestreben, Eigenform anzunehmen (Helmholtz). Neuerdings hat Schweigger wieder hierauf hingewiesen, unter Betonung der bekannten Thatsache, dass auch Linsen mit verflüssigtem Inhalte (Cataracta hypermatura), bei welchen von einer Elasticität der Linsenfasern nicht die Rede sein kann, der Kugelform zustreben, wenn keine äußere Kraft auf sie einwirkt.

Ferner machte Helmholtz die Annahme, »dass Linse, Zonula und Aderhaut eine vollständig geschlossene, vom Glaskörper prall ausgefüllte Kapsel bilden und dass der Druck der Flüssigkeit die Spannung der genannten Teile werde unterhalten müssen«.

Für die Richtigkeit des ersten Teiles der Helmholtz'schen Theorie, wonach die vermehrte Linsenwölbung durch verminderte Spannung der Zonula zustande kommt, ist der vollgiltige Beweis durch den Nachweis des Linsenschlotterns und des Herabsinkens der Linse bei physiologischem starkem Akkommodieren erbracht.

Dagegen folgt aus meinen Untersuchungen die Unhaltbarkeit des zweiten Teiles der Helmholtz'schen Annahme. Denn nach dieser müsste ja die verminderte Spannung, bezw. Entspannung der Zonula von einer entsprechenden Herabsetzung des Glaskörperdruckes begleitet sein; wir sehen aber, dass die genannten Teile bei unverändertem Glaskörperdrucke das eine Mal gespannt, das andere Mal völlig entspannt sind. Unsere Auffassung, dass unmöglich der Glaskörperdruck die Linsenspannung erhalten kann, wird gestützt durch eine Beobachtung Beer's, der am Affenauge bei Kontraktion des Ciliarmuskels Vorwölbung der Linse auch dann noch eintreten sah, wenn ein Fenster im hinteren Augenpole ausgeschnitten, der Glaskörperdruck also = 0 war. Auch Heine's Beobachtungen am eröffneten menschlichen Auge bestätigen die Richtigkeit unserer Anschauung.

Wiederholt ist der Versuch gemacht worden, die akkommodative Wölbungszunahme der Linse durch vermehrte Zonulaspannung zu erklären.

zuerst von J. Mannhardt (1858). Nach ihm bewirkt die Kontraktion des Ciliarmuskels stärkere Anspannung der Zonula und Änderung der Richtung derselben zu einer mehr nach hinten verlaufenden, Abnahme des hydrostatischen Druckes in der vorderen Augenkammer und Zunahme desselben im Glaskörper. Die Mannhardt'schen Ansichten wurden ganz vergessen. Ohne sie zu kennen, stellte Schön 1885 eine Theorie auf, deren Grundgedanken sich mit jenen der Mannhardt'schen decken; er hat seine Lehre mit großer Konsequenz ausgearbeitet und auch die aus ihr für die Praxis sich ergebenden Folgerungen streng durchgeführt. Allen wesentlichen Punkten dieser Lehre, insbesondere der Annahme vermehrter Zonulaspannung und erhöhten Glaskörperdruckes bei der Akkommodation begegnen wir wieder bei der unter dem Namen der Tscherning'schen in den letzten Jahren viel besprochenen Hypothese. Tscherning stützte seine Ansicht vorwiegend auf die Young'sche Beobachtung, dass die Akkommodationsbreite der peripheren Linsenteile wesentlich geringer sei, als die der centralen, was er, wie schon früher erwähnt, auf eine akkommodative Abflachung der peripheren Teile der Linsenvorderfläche bezieht. Diese periphere Abnahme der Akkommodationsbreite kommt indes, wie schon erwähnt, nicht in allen Augen vor. Aber auch abgesehen hiervon kann jene Beobachtung nicht wohl als Stütze für die fragliche Theorie herangezogen werden. Die eigenartige Zusammensetzung der Linse aus einem härteren Kerne und aus koncentrisch darum gelagerten weicheren Rindenschichten, die verschiedene Dicke der letzteren an verschiedenen Stellen und die vom Pole zum Äquator wechselnde Stärke der Kapsel müssen jedenfalls mitbestimmend sein für die Form, die die Linse unter verschiedenen äußeren Bedingungen annimmt, so dass die fragliche Gestaltsveränderung a priori ebensogut auf verminderten, wie auf vermehrten Zug der Zonula bezogen werden kann. Allen Hypothesen von einer akkommodativen Anspannung der Zonula ist aber durch die von mir mitgeteilten Beobachtungen der Boden entzogen. Auch widersprechen jene Hypothesen direkt den anatomischen Verhältnissen, wie wir sie am lebenden iridektomierten menschlichen Auge gefunden haben.

Die Thatsache, dass die Linse bei starkem Akkommodieren der Schwere nach herunterfällt, haben u. a. Tscherning, Koster, Beer bestätigt. Trotzdem hält Tscherning an der Annahme einer akkommodativen Anspannung der Zonula fest und meint, durch diese werde die Linsenmasse etwas nach hinten, gegen den hinteren Pol gedrängt, aber wenn die Akkommodation ihr Maximum erreiche, scheine der Widerstand an dieser Stelle zu groß zu werden und die Verdrängung erfolge unter Mithilfe der Schwere nach unten (Congrès international de physique 1900). Diese Annahme wird allein schon durch die Thatsache widerlegt, dass das akkommodative Schlottern und Heruntersinken der Linse sehr deutlich — ja besonders ausgiebig — auch bei alten Leuten zu sehen ist, deren Linse hart geworden ist, sowie auch bei Kranken mit Kapselstar. Ebensowenig haltbar ist Tscherning's Versuch, seine Ansichten durch den Hinweis

auf die Form zu stützen, die die Linsen in verschiedenen enucleirten und in MÜLLER'scher Flüssigkeit fixierten Augen zeigten. Der mit der Histologie der Linse Vertraute weiß, wie unzuverlässig alle unsere Fixierungsmittel bezüglich der Form der Linse sind, und dass es nicht angeht, aus der Form der fixierten Linse irgend welche Schlüsse auf die der lebenden zu ziehen.

§ 104. Aus allen bisher vorliegenden Beobachtungen geht hervor, dass die Innervation der Akkommodationsmuskeln lediglich vom Oculomotorius besorgt wird. Reizung des Oculomotorius erzeugt Ciliarmuskelkontraktion und entsprechende Refraktionserhöhung, Lähmung dieses Nerven dagegen Erschlaffung des Ciliarmuskels und entsprechende Refraktionsverminderung.

Die Einstellung der Augen für die Ferne erscheint danach lediglich durch Entspannung des Ciliarmuskels bedingt. Vielfach hat man versucht, auch die Einstellung für die Ferne als Folge einer aktiven Kontraktion von Muskeln zu deuten, die zu den bei Naheeinstellung thätigen antagonistisch wirken sollen. Die in dieser Richtung in den letzten Jahren von RUIZ und KÖNIG u. a. wieder aufgenommenen Versuche sind bisher ergebnislos gewesen.

MORAT und DOYON gaben an, nach Durchschneidung des Sympathicus eine Verkleinerung, bei Reizung desselben eine Vergrößerung des vorderen Linsenbildchens gesehen zu haben. Sie zogen daraus den Schluss, dass der Sympathicus ein Hemmungsnerv für die Akkommodation sei und die Akkommodation für die Ferne bewirke. LANGLEY und ANDERSON stellten dagegen einen Einfluss des Sympathicus auf die Form der Linse in Abrede. Im Hinblicke auf diese Streitfrage habe ich mit HEINE die folgenden Versuche angestellt: Bei einem Hunde erzeugten wir durch lokale Reizung mit schwachen Strömen Pupillenverengerung und Ciliarmuskelkontraktion, welche letztere sich durch die Bewegung einer im Äquator eingestochenen Nadel kundgab. Während dieser Reizung wurde gleichzeitig der vorher freigelegte Sympathicus mit Strömen von verschiedener Stärke gereizt. Die Pupille erweiterte sich prompt, trotz Fortdauer der lokalen Reizung, die Nadel aber blieb unbewegt in der dem kontrahierten Ciliarmuskel entspechenden Stellung. Der Sympathicus konnte also wohl die Pupille erweitern, nicht aber den Ciliarmuskel beeinflussen. Der Versuch scheint entscheidend gegen die MORAT-DOYON'sche Hypothese zu sprechen.

In einem zweiten Falle sahen wir folgendes: Bei einem Hunde, dessen Refraktion skiaskopisch in Ruhe + 1,0 D. betrug, ergab sich während Reizung des Sympathicus bei stark erweiterter Pupille konstant eine Refraktion von + 2,0 bis + 2,5 D., also eine anscheinende Refraktionsverminderung um 1,0 bis 1,5 D. Diese dürfte aber nicht auf negative Akkommodation, sondern darauf zu beziehen sein, dass die Wölbung der brechenden Flächen in den peripher gelegenen Teilen geringer war, als in der Gegend

des Poles und bei erweiterter Pupille ihren Einfluss auf die Refraktion geltend machte. Für diese Annahme sprechen folgende Thatsachen: 1. Bei seitlicher Beleuchtung sah man keinerlei Gestalts- oder Lageveränderungen der Linse. 2. Eine in den Äquator bulbi eingestochene Nadel, die sich bei Oculomotoriusreizung vom Ganglion aus sehr deutlich bewegte, blieb von der Sympathicusreizung, auch bei sehr starken Strömen, völlig unbeeinflusst. Beobachtung der Linsenbildchen mit dem Hornhautmikroskop ergab keine verwertbaren Resultate. Dor jun. schließt aus einer von ihm gemachten klinischen Beobachtung auf die Beteiligung des Sympathicus bei der Einstellung des Auges für die Ferne und verteidigt die Morat-Doyon'schen Anschauungen. Kürzlich haben Römer und Dufour in meinem Laboratorium die Frage nach dem Einflusse des Sympathicus auf die Akkommodation von Neuem experimentell in Angriff genommen; sie konnten meine obenerwähnten Angaben bestätigen: bei einwandfreier Versuchsanordnung ließ sich niemals eine Änderung der Linsenwölbung oder der Ciliarmuskelkontraktion nachweisen, wenn der Sympathicus gereizt wurde.

§ 105. Als Nahepunkt ist jener Punkt im Raume zu bezeichnen, von welchem bei maximaler Wölbung der Linse ein scharfes Bild auf der Netzhaut zustande kommt. Er werde als wirklicher Nahepunkt bezeichnet. Nach einer noch ziemlich allgemein gebräuchlichen Definition soll der Nahepunkt dem Punkte entsprechen, auf den das Auge bei maximaler Ciliarmuskelkontraktion eben einstellen könne. Aus dem früher Mitgeteilten ergiebt sich leicht das Ungenügende dieser Definition; denn das Auge hat im allgemeinen nicht entfernt maximale Ciliarmuskelkontraktion nötig, um der Linse ihre größtmögliche Wölbung zu geben.

Der Fernpunkt ist jener Punkt, auf welchen das Auge bei der geringstmöglichen Wölbung der Linse eingestellt ist.

Die dioptrische Veränderung des Auges beim Übergange aus der Fernpunkts- in die Nahepunktseinstellung lässt sich ausdrücken durch eine Konvexlinse, welche den vom Nahepunkte kommenden Strahlen solche Richtung giebt, als kämen sie vom Fernpunkte des Auges. Diese Linse denken wir uns an solcher Stelle im Auge, dass ihr zweiter Hauptpunkt mit dem ersten Hauptpunkte des Auges zusammenfällt. Donders hat für diese Veränderung die Bezeichnung Akkommodationsbreite eingeführt; sie wird somit gemessen durch die Differenz der Brechkräfte eines Auges bei größtmöglicher, bezw. kleinstmöglicher Linsenwölbung, d. h. durch die dieser Differenz entsprechende Konvexlinse. Fernpunkt und Nahepunkt sind somit in Bezug auf diese Linse zueinander konjugiert und es ist daher die allgemeine Linsenformel anwendbar.

In der praktischen Ophthalmologie ist es allgemein üblich, die (in Dioptrien ausgedrückte) Akkommodationsbreite mit A, die Brechkraft des

Auges bei Nahepunkts- bezw. bei Fernpunktseinstellung mit P bezw. R zu bezeichnen und dabei die Abstände vor dem Auge positiv, hinter dem Auge negativ zu rechnen; danach wird die Gleichung für die Akkommodationsbreite gewöhnlich in der folgenden Form geschrieben:

$$A = P - R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 44$$

Die Abstände des Nahe- bezw. Fernpunktes vom ersten Hauptpunkte des Auges pflegt man mit p bezw. r zu bezeichnen; werden diese in Centimetern gemessen, so ist $P = \frac{100}{p}$, $R = \frac{100}{r}$; liegt der Fernpunkt im Unendlichen, so ist $R = 0$, also $A = P$.

Für ein emmetropisches Auge, dessen Nahepunkt in 20 cm liegt, ist $A = \frac{100}{20} = 5$ Dioptrien. Für ein kurzsichtiges Auge mit einem Fernpunktsabstande von 50 cm und einem Nahepunktsabstande von 8 cm ist $A = \frac{100}{8} - \frac{100}{50} = 10{,}5$ D. Für ein Auge mit 3 Dioptrien Hypermetropie und 50 cm. Nahepunktsabstand ist (da hier r negatives Vorzeichen hat) $A = \frac{100}{50} - \left(-\frac{100}{33}\right) = 2 + 3 = 5$ D.

Donders hat zuerst diese Formel angegeben in der Form $\frac{1}{A} = \frac{1}{p} - \frac{1}{r}$; die Differenz der reciproken Nahepunkts- bezw. Fernpunktsabstände giebt den reciproken Wert für die Brennweite des Konvexglases, das der Akkommodationsbreite entspricht.

Als Akkommodationsgebiet (=bereich) bezeichnet man den räumlichen Abstand des Nahepunktes vom Fernpunkte, in Längenmaß ausgedrückt. Es umfasst also die Gesamtheit aller Punkte im Raume, von welchen durch geeignete Akkommodation ein deutliches Bild auf der Netzhaut entworfen werden kann. Für $r = 100$ cm und $p = 20$ cm ist das Akkommodationsgebiet $= 80$ cm, die Akkommodationsbreite $= 4$ D. Für $r = 10$ cm und $p = 7{,}1$ cm ist das Akkommodationsgebiet $= 2{,}9$ cm, die Akkommodationsbreite wiederum $= 4$ D. Gleichen Akkommodationsbreiten entsprechen also keineswegs gleiche Akkommodationsgebiete. Je näher das Akkommodationsgebiet am Auge liegt, desto größer ist die einem und demselben Akkommodationsgebiete entsprechende Akkommodationsbreite.

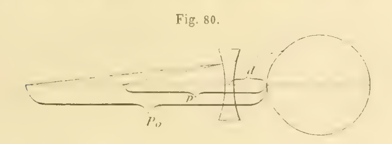
Bei bekannter Akkommodationsbreite und Fernpunktslage wird nach der obigen Formel leicht die Nahepunktslage, ebenso bei bekanntem A und P die Lage von r gefunden.

Da bei der üblichen Linsenbezeichnung die Brechkraft einer Linse nach ihrer Brennweite in Luft bestimmt wird, so muss auch die die Akkommodation repräsentierende Linse von einer unendlich dünnen Luftschicht umgeben

gedacht werden. Soll sich dagegen die Linse nicht in Luft, sondern in einem Medium befinden, dessen Brechungsindex $= n$ ist, so muss die entsprechende Linse eine Brechkraft $= n \cdot A$ haben. (Denn eine Linse, deren Brechkraft in Luft $= A$ ist, hat im Medium von dem Index n die Brechkraft $\frac{A}{n}$.

Durch Vorsetzen von Korrektionsgläsern wird die Akkommodationsbreite geändert. Diese Änderung ist für schwache Gläser sehr gering, für stärkere aber nicht unbeträchtlich, wie sich aus folgendem Beispiele ergiebt: Bei einer Kurzsichtigkeit von 8 Dioptrien sei die Akkommodationsbreite $= 10$ Dioptrien, also $r = 12{,}5$ cm, $p = 5{,}55$ cm. Zur Korrektion ist ein Glas von 9,1 Dioptrien nötig, wenn dieses sich 15 mm vor dem ersten Hauptpunkte des Auges

Fig. 80.



befindet. Für das korrigierte Auge liegt der Fernpunkt in ∞, die Lage des Nahepunktes berechnen wir aus $A = B - D$; unter Berücksichtigung der Richtung, in der die Werte hier negativ zu nehmen sind, ergibt sich: von dem im Abstande $p_0 - d$ vor der Linse gelegenen Nahepunkte wird das Bild durch das Glas von $- 9{,}1$ Dioptrien im Abstande $p - d$ entworfen. Da $p_0 = - 5{,}55$, so ist $p_0 - d = - 4{,}05$ cm; $B = \frac{1}{p_0 - d} = - 24{,}7$ Dioptr. $A = - 24{,}7 + 9{,}1 = - 15{,}6$ Dioptr., daher $p = - 7{,}9$ cm, d. h. die Akkommodationsbreite des mit Brille bewaffneten Auges ist $- 12{,}66$ Dioptrien, also um 2,66 Dioptrien größer als die des unbewaffneten. Für eine Kurzsichtigkeit von 4 Dioptrien, die durch ein Glas von $- 4{,}26$ korrigiert wird, beträgt, bei einer Akkommodationsbreite des unkorrigierten Auges von 10 Dioptrien, jene des korrigierten ca. 11,3 Dioptrien. Allgemein wird die Akkommodationsbreite durch Konkavgläser vergrößert. In entsprechender Weise lässt sich zeigen, dass die Akkommodationsbreite des mit Konvexgläsern korrigierten Auges kleiner ist, als die des unkorrigierten. Das Akkommodationsgebiet wird vergrößert durch alle Gläser, die den Fernpunkt dem Unendlichen nähern.

Man hat sich in der Regel vorgestellt, dass die im Augenblicke der Ciliarmuskelkontraktion auftretende Entspannung der Zonula stets sofort wieder durch vermehrte Wölbung der Linse ausgeglichen werde, dass es also auch bei stärkstem Akkommodieren nicht zu einer wirklichen Erschlaffung der Zonula komme. Mauthner: Zu einer eigentlichen, wirklichen Erschlaffung der Zonula dürfte es jedoch hierbei kaum kommen . Dieser Meinung entspricht die auch bei den Anhängern der Helmholtz'schen Theorie noch verbreitete Annahme, dass der Einstellung auf den Nahepunkt maximale Kontraktion des Ciliarmuskels entspreche.

Die Thatsache, dass schon ein mehr oder weniger großer Bruchteil der disponiblen Ciliarmuskelkontraktion zur Einstellung des Auges auf seinen Nahepunkt genügt, macht eine strengere Scheidung der Begriffe »Akkommodation« und »Ciliarmuskelkontraktion« notwendig und erfordert vor allem die Einführung besonderer Bezeichnungen für die Akkommodationsleistung bei Einstellung auf den Nahepunkt des deutlichen Sehens und für die maximale Zusammenziehung des Ciliarmuskels.

Physikalischen oder manifesten Nahepunkt könnte man denjenigen Punkt nennen, welcher bisher als Nahepunkt schlechtweg bezeichnet worden ist, dessen Lage für das normale Auge wesentlich von der Eigenform der Linse bestimmt wird und in erster Linie von der Wölbung ihrer Flächen bei entspannter Zonula abhängt. Er entspricht somit der Einstellung des Auges in dem Falle, dass die Linse die größte, bei erschlaffter Zonula mögliche und thatsächlich eintretende Wölbung hat.

Als physiologischer oder latenter Nahepunkt könnte jener Punkt bezeichnet werden, auf welchen das Auge bei maximaler willkürlicher Kontraktion des Ciliarmuskels einstellen würde, wenn das Bestreben der Linse, Kugelgestalt anzunehmen, unbegrenzt wäre. Seine Lage wird bestimmt durch den Grad der Kontraktionsfähigkeit des Ciliarmuskels. Eine Bestimmung desselben ist mit unseren bisherigen Methoden noch nicht möglich.

Als totale Akkommodationsbreite wäre jene zu bezeichnen, welche der Einstellung auf den latenten Nahepunkt entspräche, als manifeste jene, die der Einstellung auf den (physikalischen oder) manifesten Nahepunkt entspricht. Die Differenz zwischen der totalen und der manifesten wird zweckmäßig als latente Akkommodationsbreite bezeichnet. Im allgemeinen wird diese Differenz bei jugendlichen Individuen am kleinsten sein und mit zunehmendem Alter immer größer werden, da der manifeste Nahepunkt immer weiter vom Auge abrückt, während der latente vermutlich lange Zeit fast unverändert an der gleichen Stelle bleibt.

Alle im latenten Akkommodationsbereiche vor sich gehenden Ciliarmuskelkontraktionen sind ganz ohne Einfluss auf die Linsenwölbung, denn wenn die Zonula vollständig erschlafft ist, so kann bei weiteren Kontraktionen des Ciliarmuskels die Erschlaffung noch ausgesprochener werden, die Linse kann wohl weiter heruntersinken, aber sich nicht mehr stärker wölben.

Die Größe der totalen Akkommodationsbreite wird von der Lage des latenten Nahepunktes mitbestimmt, und diese hängt in erster Linie von der Leistungsfähigkeit des Ciliarmuskels ab. Meine Untersuchungen haben bisher nur den Beweis erbracht, dass der Ciliarmuskel auch im höheren Alter sich wesentlich stärker kontrahieren kann, als zur Einstellung auf den manifesten Nahepunkt nötig ist. Doch wäre es wohl möglich, dass er weniger leistungsfähig wäre, als ein jugendlicher Ciliarmuskel. Daher

dürfen wir eine strenge Gesetzmäßigkeit, wie für die Abnahme der manifesten Akkommodationsbreite (s. u.) nicht ohne weiteres auch für die Zunahme der latenten annehmen. Erstere wird ausschließlich durch die Konsistenzänderung der Linse bei zunehmendem Alter bedingt, die nach allen bisher vorliegenden Thatsachen mit großer Regelmäßigkeit vor sich geht und im allgemeinen nur in verhältnismäßig geringem Grade individuellen Schwankungen unterliegt. (Die mehrfach gemachte Angabe, dass die Akkommodationsbreite eines gesunden Auges von einem Tage zum anderen um 2 Dioptrien und mehr schwanken könne, ist auf Beobachtungsfehler zurückzuführen.)

§ 106. Bei fast allen praktischen und vielen wissenschaftlichen Nahepunktsbestimmungen geht man so vor, dass man ein feines Objekt (feine Druckschrift, Punktproben, Coconfäden) dem Auge nähert, bis es eben anfängt unscharf zu erscheinen. Man bestimmt also eigentlich nur die Grenze der Wahrnehmbarkeit kleinster Zerstreuungskreise. Der entsprechende Punkt, den wir als scheinbaren Nahepunkt bezeichnen wollen, fällt im allgemeinen nicht mit dem wirklichen zusammen, sondern liegt dem Auge näher, als dieser. Die Differenz zwischen wirklichem und scheinbarem Nahepunkt kann bei verschiedenen Beobachtungsbedingungen sehr verschieden groß sein. Sie hängt, bei gleicher Leistungsfähigkeit der percipierenden Elemente u. a. ab von der relativen Größe des Sehobjektes, von dem Helligkeitsunterschiede zwischen Objekt und Grund, von den kleinen Unregelmäßigkeiten des dioptrischen Apparates, vor allem aber auch von der Pupillenweite. Indem man die unter verschiedenen äußeren Bedingungen gemessenen Werte ohne weiteres zu einander in Beziehung brachte, wurde man mehrfach zu irrigen Ansichten geführt.

Die erwähnten Nachteile lassen sich zum großen Teile vermeiden bei Messungen nach dem Prinzip des Scheiner'schen Versuches (Porterfield-Young'sches, Stampfer'sches Optometer u. a.). Es ist in der Regel leichter anzugeben, wann ein genügend feines Objekt eben doppelt gesehen wird, oder wann ein kleines, durch zwei punktförmige Öffnungen gesehenes punktförmiges Objekt nicht mehr kreisrund, sondern in die Länge oder Breite gezogen erscheint, als zu bestimmen, wann es nicht mehr mit vollständig scharfen Konturen gesehen wird. Vor allem aber sind solche Messungen innerhalb viel weiterer Grenzen unabhängig von der Pupillenweite, (was bei der gewöhnlichen Bestimmungsmethode mittels enger Blenden etc. meist nur unvollkommen erreicht werden kann). Der mit Optometern nach dem Prinzip des Scheiner'schen Versuches gemessene Nahepunkt wird also im allgemeinen dem wirklichen näher liegen, als der mit der üblichen Methode gefundene, und es können bei Messungen, die mit verschieden weiten Pupillen angestellt sind, eher vergleichbare Resultate erhalten werden. Die

Notwendigkeit, für die meisten solcher Messungen die Akkommodation willkürlich zu beherrschen, steht einer ausgedehnteren Anwendung der Methode in der Praxis im Wege. (Die verbreitete Meinung, eine genaue Nahepunktsbestimmung sei sehr schwer, weil »das Maximum der Akkommodationsspannung sehr von der Übung abhängig sei und nur für einen kurzen Moment eingehalten werden könne«, ist nicht aufrecht zu erhalten. Das Maximum der Akkommodationsspannung (womit hier maximale Ciliarmuskelkontraktion gemeint ist), ist ja bei der Nahepunktsbestimmung nicht entfernt erforderlich.)

Vergleichende Messungen ergaben mir, dass der mit der üblichen Methode bestimmte Nahepunkt von dem nach dem Scheiner'schen Prinzipe bestimmten an meinen Augen um Größen im dioptrischen Werte von ca. 1 D. verschieden sein kann, d. h. bei gleicher Fernpunktslage würde meine Akkommodationsbreite, nach der üblichen Messungsweise bestimmt, um ca. 1 Dioptrie größer erscheinen, als nach jener mit dem Scheiner'schen Prinzip. In der Praxis bestimmt man p am häufigsten durch Annäherung kleiner Druckschrift an das Auge, bis die Schrift unleserlich wird; das Verfahren, das sich durch seine Einfachheit empfiehlt, genügt für viele praktische Aufgaben. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen ist die Identifizierung von scheinbarem und wirklichem Nahepunkt unzulässig.

Die Pupillenweite ist bei verschiedenen Refraktionszuständen und in verschiedenen Lebensaltern verschieden. Wir finden die Pupille im großen und ganzen bei Übersichtigen und bei alten Leuten beträchtlich enger als bei Kurzsichtigen und bei Jugendlichen. Vergleicht man ohne Rücksicht hierauf die mit den gewöhnlichen Methoden gewonnenen Ergebnisse, so kann man die Akkommodationsbreite verschiedener Augen trotz gleicher Veränderungen des brechenden Apparates verschieden groß finden (vgl. auch § 116).

Die Lage des Fernpunktes wird gewöhnlich in der Weise bestimmt, dass man bei Prüfung auf großen Abstand das schwächste Konkavglas bezw. stärkste Konvexglas aufsucht, mit welchem das untersuchte Auge die beste Sehschärfe hat. Man ermittelt hier also gleichzeitig den Fernpunktsabstand (d. i. die Refraktion) und die Sehschärfe. Ist — 2,0 D. das schwächste Glas, mit dem am besten in die Ferne gesehen wird, so ist $r = 50$ cm, denn das Glas giebt den parallel zum Auge gehenden Strahlen eine solche Richtung, als kämen sie von einem 50 cm entfernten Punkte. Eine ähnliche Überlegung, wie für den Nahepunkt, zeigt, dass auch hier nur der *scheinbare* Fernpunkt gefunden wird, und dass dieser bei der üblichen Bestimmungsweise weiter vom Auge abliegt als der wirkliche, bei sonst gleichen Verhältnissen um so weiter, je enger die Pupille ist. Der Unterschied ist von weniger großer prinzipieller Bedeutung als jener zwischen scheinbarem und wirklichem Nahepunkte.

Wir sahen, dass die Nahepunktseinstellung nicht der größtmöglichen Kontraktion des Ciliarmuskels entspricht. In ähnlicher Weise entspricht vielleicht auch die Fernpunktseinstellung nicht der größtmöglichen physiologischen Entspannung des Muskels. Es wäre wohl denkbar, dass die Fernpunktseinstellung, d. h. die größtmögliche Abflachung der Linse, schon erfolgt ist, wenn der Ciliarmuskel noch nicht das physiologische Minimum seiner Spannung erreicht hat.

Entsprechend der Nahepunktsbezeichnung könnte man diesen Punkt den manifesten Fernpunkt nennen. Ist die Einstellung auf diesen erfolgt und tritt nun eine weitere Verminderung der physiologischen Spannung des Ciliarmuskels ein, so kann diese optisch nicht mehr zum Ausdrucke kommen, weil der Widerstand von seiten der Linse zu groß ist. Ohne diesen Widerstand würde sich der Muskel also noch weiter entspannen lassen bis zu einer gewissen Grenze, welche man entsprechend als den latenten Fernpunkt bezeichnen könnte. Während es durch zahlreiche Thatsachen nachgewiesen ist, dass es einen vom manifesten wohl zu unterscheidenden latenten Nahepunkt giebt, ist ein solcher Beweis für den Fernpunkt bisher nicht erbracht. Doch sprechen manche Beobachtungen aus der Lehre vom binocularen Sehen für die Berechtigung der hier gemachten Unterscheidung. Danach sind die Grenzpunkte für die manifeste Akkommodationsbreite nur bestimmt durch das mögliche Maximum bezw. Minimum der Linsenwölbung, nicht aber durch das Maximum bezw. Minimum der Ciliarmuskelspannung.

Aus dem Gesagten ergiebt sich die klinisch wichtige Thatsache, dass die manifeste Akkommodationsbreite (= Akkommodationsbreite schlechtweg) unter physiologischen Verhältnissen lediglich durch das physikalische Verhalten der Linse bestimmt und von geringen individuellen Schwankungen in dem jeweiligen Maße der maximalen Kontraktion des Ciliarmuskels durchaus nicht beeinflusst wird.

Immer wieder ist die Behauptung aufgestellt worden, die Akkommodationsbreite hänge von der Berufsthätigkeit, von der Refraktion der Augen und von der geleisteten Akkommodationsarbeit ab. So haben erst kürzlich wieder Fromaget und Bordier angegeben, dass bei Landleuten die Akkommodationsbreite kleiner sei als bei gleichaltrigen Studierenden; der Kurzsichtige habe im allgemeinen eine kleinere, der Übersichtige eine größere Akkommodationsbreite, als der Normalsichtige, weil im einen Falle die Akkommodation mehr, im anderen weniger geübt werde. Wenn diese (übrigens mit manchen anderen Angaben, z. B. von Donders, in Widerspruch stehenden) Behauptungen richtig wären, so müsste daraus nur geschlossen werden, dass die Linse des Bauern härter als die des Gelehrten, die des Übersichtigen weicher als die des Kurzsichtigen wäre. Man ging hier von der irrigen Voraussetzung aus, dass die Refraktionszunahme um so größer sei, je mehr sich der Ciliarmuskel kontrahiere. Thatsächlich ist dies aber nur innerhalb der manifesten Akkommodationsbreite der Fall.

§ 107. Von den ersten Jugendjahren an, in welchen eine genauere subjektive Messung der Akkommodationsbreite möglich ist, lässt sich mit zunehmendem Alter ein Hinausrücken des Nahepunktes nachweisen, das bei verschiedenen Individuen und bei allen Refraktionszuständen im allgemeinen mit sehr großer Regelmäßigkeit vor sich geht. Dass diese Abnahme der Akkommodationsbreite nicht auf verminderte Leistungsfähigkeit des Ciliarmuskels bezogen werden kann, geht genügend aus dem Früheren hervor.

Nach der Auffassung, dass zur Nahepunktseinstellung maximale Ciliarmuskelkontraktion nötig sei, wäre zu erwarten, dass bei älteren Leuten der Ciliarmuskel (ähnlich wie im hypermetropischen Auge) viel kräftiger gefunden würde, als in Augen von jungen Emmetropen. Dies ist aber nicht der Fall; im Gegenteil wird angegeben (z. B. von R. Kerschbaumer), dass im Alter die Muskelfasern im allgemeinen spärlicher, die einzelnen Bündel dünner werden und wenig Kerne enthalten; bei Greisen finde man öfter die atrophischen Muskelfibrillen im reichlich entwickelten Bindegewebe zerstreut.

Es steht heute fest, dass die Ursache für das Hinausrücken des Nahepunktes lediglich auf einer mit zunehmendem Alter gleichmäßig abnehmenden Weichheit der Linse beruht.

Eine kindliche Linse, aus ihrer Verbindung mit dem Ciliarkörper gelöst, hat nahezu kugelige Gestalt, fast wie eine mit zäher Flüssigkeit gefüllte Blase. Sehr geringer Zug oder Druck vermag eine Gestaltsveränderung der Linse herbeizuführen, die nach Aufhören der wirkenden Kraft sich sofort wieder ausgleicht. Die (normale) Linse eines 80 Jährigen, in gleicher Weise aus ihrer Umgebung gelöst, hat, auch wenn keine äußeren Kräfte auf sie wirken, stark abgeplattete, wirkliche Linsenform. Durch Zug von seiten der Zonula kann ihre Gestalt nur wenig verändert werden. Wenn also im jugendlichen Auge der Ciliarmuskel sich zusammenzieht, so antwortet die Linse mit Vermehrung ihrer Wölbung: innerhalb ziemlich weiter Grenzen entspricht einer Zunahme der Ciliarmuskelkontraktion auch eine Wölbungszunahme der Linse.

Bei einem senilen Auge mit harter Linse wird, wenn die übrigen Verhältnisse die gleichen geblieben sind, schon eine sehr geringe Kontraktion des Ciliarmuskels die völlige Erschlaffung der Zonula zur Folge haben, die Gestalt der Linse aber wird sich nicht ändern können; jede weitere Ciliarmuskelkontraktion ist zwecklos geworden. Zwischen diesen beiden Extremen sind nun in den verschiedenen Lebensperioden alle denkbaren Übergänge vorhanden. Die weiche, bewegliche Rindenschicht, die bei Entspannung der Zonula die Gestaltsveränderung wesentlich ermöglicht, wird mit zunehmendem Alter immer dünner und auch selbst weniger weich. So lange sie aber überhaupt vorhanden ist, wird eine gewisse Ciliarmuskelkontraktion auch eine gewisse Wölbungsvermehrung zur Folge haben, eine stärkere Kontraktion dagegen nicht auch immer eine größere Wölbung.

Es liegt kein genügender Grund für die Annahme vor, dass das Hervorrufen bestimmter Wölbungsvermehrungen der Linse im höheren Alter viel mehr Muskelkraft erheische, als im jugendlichen Alter. Häufig begegnen wir der folgenden Überlegung: da die Linse im Alter härter wird, so muss zu gleicher Gestaltsveränderung eine verhältnismäßig größere Muskelarbeit nötig sein. Zwingend wäre dieser Schluss aber nur bei Annahme einer vermehrten Zonulaspannung bei der Akkommodation, er gilt aber nicht ohne weiteres für die Verhältnisse, wie wir sie thatsächlich finden. Bei einem Organ, das, wie die Linse, nach Aufhören äußerer Einwirkung einer bestimmten Eigenform zustrebt, kann man sich sehr wohl vorstellen, dass die durch gleiche Ciliarmuskelkontraktion, also gleich große Annäherung der Ciliarfortsätze an den Linsenrand bedingte Entspannung in verschiedenen Lebensperioden gleich große Wölbungszunahmen zur Folge habe, soweit diese Wölbungszunahme überhaupt noch statt haben kann. A priori ist die eine Annahme ebenso berechtigt, wie die andere. Durch direkte Messung wird sich die Frage kaum entscheiden lassen, da wir noch kein Mittel besitzen, um direkt die Größe einer Ciliarmuskelkontraktion zu messen. (Über die Möglichkeit einer indirekten Messung mit Hilfe des binocularen Sehens s. den XII. Abschnitt.) Die Ansicht, dass auch im höheren Alter die Einstellung auf den Nahepunkt maximale oder fast maximale Akkommodationsanstrengung erfordere, besteht nach dem oben Gesagten nicht mehr zu Recht.

Auch der Fernpunkt bleibt nicht während des ganzen Lebens an gleicher Stelle, sondern rückt im allgemeinen etwa vom 50. Jahre an vom Auge ab. Nach Donders ist im Alter von 50 Jahren der mit 20 Jahren emmetropisch Gewesene schon entschieden hypermetropisch und hat mit 70 Jahren eine Hypermetropie von ungefähr 2 Dioptrien bekommen.

Für dieses Hinausrücken des Fernpunktes werden verschiedene Umstände verantwortlich gemacht, in erster Linie die Zunahme des Brechungsindex der Rindenschichten der Linse. Nach Heine nimmt der Brechungsindex in der Gegend des vorderen Linsenpoles von 1,395 in der Jugend auf 1,405 im Alter zu; der Kernindex nimmt aber in der gleichen Zeit viel weniger zu (um 0,005). Daraus folgt, (da der Totalindex um so größer wird, je größer die Differenz zwischen Kern- und Rindenindex ist), eine Abnahme des Totalindex der Linse. Als schematischen Wert giebt Heine für senile Linsen einen Totalindex = 1,415 an. Daraus würde sich, wenn man für jugendliche Linsen einen Totalindex von 1,430 annimmt, eine Hypermetropie von etwas über 2 Dioptrien ergeben, also die thatsächlich gefundene Hypermetropie erklärt sein.

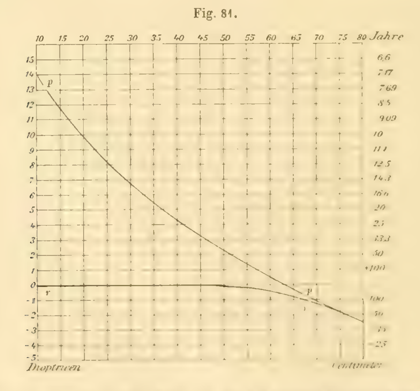
Im Gegensatze zu der herrschenden Ansicht, dass der Brechwert der Linse im Alter abnehme, giebt Bertin-Sans an, dass derselbe nicht unbeträchtlich erhöht werde: Er fand bei der Untersuchung von Kälbern und Lämmern einer- und von Kühen und Schafen andererseits, dass bei den älteren Tieren der

Brechungsindex des Linsenkernes zunehme, jener der Rindenmassen fast unverändert bleibe. Folgerichtig zieht er daraus den Schluss, dass, wenn der Fernpunkt im höheren Alter thatsächlich hinausrückt, dies durch andere Momente geschehen müsse, welche das Hereinrücken des Fernpunktes infolge der erhöhten Brechkraft der Linse überkompensierten. Welcher Art diese etwa sein könnten, erörtert Bertin-Sans nicht.

Auf einen anderen die Refraktion vermindernden Umstand, der hier vielleicht in Betracht kommt, hat Priestley Smith hingewiesen: Denkt man sich eine Linse bei gleichbleibendem Index symmetrisch, d. h. in allen Durchmessern in gleichem Verhaltnis vergrößert, so wird auch ihre Brennweite größer. Die menschliche Linse nimmt bis ins Alter an Volumen stetig zu, und wenn dieses Wachstum in allen Teilen gleichmaßig erfolgt, so muss auch der Radius im Pupillargebiete etwas größer, die Brechkraft bei sonst gleichen Bedingungen kleiner werden. Straub meint, dass die im Alter auftretende Hypermetropie zunächst nur durch Nachlassen eines in der Jugend vorhandenen Tonus des Ciliarmuskels bedingt sei. Erst im hohen Alter käme eine wirkliche Änderung der Linse als Ursache der erworbenen Hypermetropie des Alters in Betracht (genaueres hierüber s. § 156).

Da das Hinausrücken des Nahepunktes viel früher beginnt und auch später viel rascher vor sich geht, als das des Fernpunktes, so muss mit zunehmendem Alter eine beträchtliche Abnahme der Akkommodationsbreite

Fig. 81.



erfolgen. In nebenstehender Figur ist diese Abnahme graphisch verzeichnet auf Grund der von Donders ermittelten Zahlen (s. die Tabelle). Als Ordinaten sind die Lebensjahre, als Abscissen die Nahepunkts- bezw. Fernpunkts-

abstände *p* und *r* in Centimetern (bezw. der entsprechende Wert in Dioptrien) verzeichnet. Die Akkommodationsbreite ist durch den Abstand zwischen Fernpunkt und zugehörigem Nahepunkte gegeben.

Die vorliegende Kurve entspricht zunächst dem emmetropischen Auge; sie ist aber ohne weiteres auf alle sonst normale, kurzsichtige und übersichtige Augen anwendbar, denn die relative gegenseitige Lage von *p* und *r* ist hier im allgemeinen ganz die gleiche wie im emmetropischen Auge. Ihre absolute Lage erhält man leicht aus dem Grade von *M* und *H*, mit dem die Lage von *r* direkt gegeben ist.

Lebensalter in Jahren	Abstand des Nahepunktes in Centimetern	Abstand des Fernpunktes in Centimetern	Akkommodationsbreite in Dioptrien
10	7,1	∞	14
15	8,3	∞	12
20	10	∞	10
25	12,8	∞	8,5
30	14,3	∞	7
35	18,2	∞	5,5
40	22,2	∞	4,5
45	28,6	∞	3,5
50	40	∞	2,5
55	66,6	— 400 (*H.* 0,25)	1,75
60	200	— 200 (*H.* 0,5)	1
65	— 400	— 133 (*H.* 0,75)	0,5
70	— 100	— 80 (*H.* 1,25)	0,25
75	— 57,1	— 57,1 (*H.* 1,75)	0
80	— 40	— 40 (*H.* 2,5)	0

Bei Beurteilung dieser Tabelle müssen wir uns stets gegenwärtig halten, dass sie auf Grund der üblichen Nahepunktsbestimmungen mittels Annäherung feiner Objekte erhalten ist, also nur ein Bild von der scheinbaren Akkommodationsbreite giebt, die, wie wir oben sahen, größer ist als die wirkliche. Im höheren Alter wird die Pupille durchschnittlich enger und infolgedessen wird dann die scheinbare Akkommodationsbreite die wirkliche um einen relativ größeren Betrag übertreffen, als in der Jugend. Die Kurve, welche die Abnahme der wirklichen Akkommodationsbreite darstellen würde, würde sich also im Alter mehr von der vorliegenden entfernen, als in der Jugend, so zwar, dass die wirkliche Akkommodationsbreite rascher abnimmt und früher = 0 wird, als die scheinbare. Aus gleichem Grunde wird das Hinausrücken des wirklichen Fernpunktes nicht in dem Umfange stattfinden, wie das des scheinbaren, in der Tabelle verzeichneten. Diese Umstände sind aber von untergeordneter Bedeutung, so lange nur die praktische Verwertbarkeit der Tabelle in Betracht kommt.

Nach der oben vorgeschlagenen Bezeichnung würde das zwischen den Linien *pp* und *rr* gelegene Gebiet die manifeste Akkommodationsbreite darstellen. Die latente Akkommodationsbreite entspricht dem nach rechts und

oben von der Linie pp gelegenen Gebiete; sie nimmt mit dem Alter stetig zu. Über ihre absolute Größe können wir aber nicht, wie für die manifeste, bestimmte Angaben machen, da wir nicht genügend sicher wissen, wohin die den latenten Nahepunkten entsprechende Grenzlinie zu verlegen ist. Angenähert wird die maximale Ciliarmuskelkontraktion einem dioptrischen Werte von 15—20 Dioptrien gleichgesetzt werden können. Die Linie der latenten Nahepunkte müsste also noch etwas weiter nach oben liegen, als die obere Grenzlinie unserer Figur. Während eines großen Lebensabschnittes wird sie der Abscissenachse ungefähr parallel verlaufen (entsprechend der Annahme, dass die Kraft des Ciliarmuskels für längere Zeit als ziemlich konstant angesehen werden kann). Tritt im hohen Alter eine Abnahme der Ciliarmuskelkraft ein, so müsste dies darin zum Ausdrucke kommen, dass die entsprechende (rechte) Endstrecke der latenten Nahepunktslinie sich etwas nach unten senken würde.

Presbyopie.

§ 108. Die physiologische Abnahme der Akkommodationsbreite mit zunehmendem Alter macht im allgemeinen wenige oder keine Störungen, solange der Nahepunkt nicht in größere, als die durchschnittliche Arbeitsentfernung vom Auge abgerückt ist. Da diese für die wichtigeren hier in Betracht kommenden Thätigkeiten, wie Schreiben, Lesen, Handarbeiten etc. ca. 30—33 cm beträgt, so ergiebt sich aus der Tabelle, dass von den Emmetropischen im Alter von ca. 45 Jahren in diesem mittleren Abstande feine Gegenstände ohne Glas nicht mehr genügend scharf gesehen werden können. In der That haben Emmetropische in überwiegender Zahl zuerst in diesem Alter Beschwerden beim Sehen in die Nähe. Die Buchstaben erscheinen ihnen undeutlich, verwaschen und (infolge der nötig gewordenen Entfernung der Schrift vom Auge) sehr klein; bei heller Beleuchtung ist das Lesen wesentlich erleichtert (infolge der engeren Pupille), in der Dämmerung fast oder ganz unmöglich. Dagegen wird im allgemeinen nicht über Beschwerden von der Art der asthenopischen geklagt. Die Patienten haben nicht das Gefühl besonderer Anstrengung oder gar von Schmerzen, die aus den Augen in den Kopf ausstrahlen, wie sie schon bei verhältnismäßig geringen Graden von Hypermetropie häufig vorkommen.

Die Unfähigkeit, in der Nähe deutlich zu sehen, hat schon früh zur Aufstellung eines besonderen Krankheitsbildes geführt, dem man nach der aristotelischen (s. u.) Bezeichnung πρέσβυτες den Namen Presbyopie gegeben hat. Sie bezeichnet zunächst also nur die Beschwerden, die bei älteren emmetropischen Leuten durch Abnahme der Akkommodationsbreite bedingt sind und entspricht nicht einem pathologischen, sondern einem rein physiologischen Zustande. Sie stellt auch insofern kein scharf umschriebenes

klinisches Bild dar, als bei verschiedenen Refraktionszuständen die durch Härterwerden der Linse bedingten Störungen sehr verschieden sind. Diese treten früher beim Übersichtigen auf, als beim Kurzsichtigen, und fehlen bei Myopie von mehr als 3—4 D. vollständig (so lange keine Brillen getragen werden); denn wenn die Akkommodation hier auch = 0 geworden ist, so kann doch im Fernpunktsabstande ohne Mühe gelesen werden. Aus diesen Gründen ist (insbesondere von Landolt) vorgeschlagen worden, überhaupt die Bezeichnung Presbyopie ganz fallen oder doch nur noch insofern gelten zu lassen, als sie zu rascherer Orientierung in der Praxis dienen kann. Aus vielen, z. T. schon von Donders angeführten Gründen scheint es mir indessen zweckmäßig, die Bezeichnung Presbyopie beizubehalten. Die Komplikationen mit Refraktionsanomalien können entsprechend als Myopie bezw. Hypermetropie, verbunden mit Presbyopie, bezeichnet werden. Nach dem Gesagten muss auch die Bestimmung der Grenze, von welcher ab wir die Presbyopie rechnen wollen, eine mehr oder weniger willkürliche sein. Donders wählte für den Zweck der Brillenbestimmung als Grenze eine Nahepunktslage von 22 cm, entsprechend einer Akkommodationsbreite von ca. 4,5 D. für das emmetropische Auge. Landolt setzt, wie mir scheint zweckmäßiger, als mittleren Leseabstand eine Entfernung von 30 cm an und legt diese der Brillenkorrektion zu Grunde.

§ 109. Für die Brillenverordnung bei Presbyopie ist zunächst die Frage von Interesse, ob man dasjenige Glas geben soll, durch welches der Nahepunkt in die mittlere Arbeitsentfernung gebracht wird, oder ein stärkeres. Die Verordnung stärkerer Gläser wird mehrfach, so von Landolt, befürwortet mit der Begründung, dass der Presbyopische, dessen Nahepunkt durch das Glas auf 30 cm verlegt ist, zum Lesen in diesem Abstande maximale Ciliarmuskelkontraktion nötig habe; da diese rasch ermüde, so sei das Lesen in solcher Entfernung nur für kurze Zeit möglich.

Von der gleichen theoretischen Voraussetzung wie Landolt ging auch Monoyer aus, als er (1875, 1897) Formeln zur Bestimmung der Presbyopengläser entwickelte und als »akoptische« (= mühelose) Einstellungsentfernung jene bezeichnete, bei welcher nur $^2/_3$ der überhaupt vorhandenen Akkommodationsbreite verwertet werden. Ähnlich hat vor kurzem Huizinga sich geäußert.

Dass diese Begründung heute nicht mehr zutrifft, ergiebt sich schon aus dem in den vorhergehenden Paragraphen über die Akkommodation Gesagten. (Vgl. auch den Abschnitt über das Sehen mit 2 Augen.) Wie ein 45jähriger Emmetropischer, der ohne Glas in 30 cm liest, nicht annähernd seine maximale Ciliarmuskelleistung nötig hat und daher auch nicht rasch ermüdet, so ist auch nach Verlegen des Nahepunktes durch ein Konvexglas in 30 cm nicht entfernt maximale Ciliarmuskelanstrengung zum Lesen

in diesem Abstande nötig; daher kann (wie die Erfahrung bestätigt) unter diesen Bedingungen lange ohne besondere Ermüdung gelesen werden.

Auch die immer von neuem aufgeworfene Frage, ob Presbyopie durch systematische Übung des Ciliarmuskels hintangehalten oder ihr Eintritt hinausgeschoben werden könne, erledigt sich durch diese Erwägung. Da das Maximum der Linsenwölbung viel früher erreicht ist, als die stärkste Ciliarmuskelkontraktion, so kann auch noch soweit getriebene Übung des Ciliarmuskels keinen Einfluss auf jenes Maximum haben.

Die bisher besprochenen Gründe für die Verordnung stärkerer Konvexgläser bei Presbyopie, als zur Nahepunktseinstellung nötig werden, sind somit nicht stichhaltig, da sie von irrigen Voraussetzungen ausgehen. Dagegen mag es sich aus einem anderen, rein praktischen Grunde empfehlen, die Gläser etwas stärker zu geben, als nötig ist, um den Nahepunkt auf 30 cm zu bringen.

In der Zeit vom 45. bis 50. Lebensjahre rückt der Nahepunkt von ca. 30 auf ca. 40 cm hinaus. Wird nun dem 45 Jährigen das Glas verordnet, das den Nahepunkt nur eben auf 30 cm bringt, so reicht dieses schon nach verhältnismässig kurzer Zeit (ca. 2—4 Jahren) nicht mehr ganz aus. Verschreibt man von vornherein ein Glas, das den Nahepunkt auf etwa 25 cm verlegt, so kann der Patient mit entsprechend geringerer Inanspruchnahme seiner noch verfügbaren manifesten Akkommodation in 30 cm lesen und wird erst später ein stärkeres Glas brauchen.

Viele Presbyopische lehnen anfänglich solche stärkere Gläser ab mit der Klage, sie machten das Lesen unbequem und beschwerlich. In der Mehrzahl der Fälle genügt aber eine Gewöhnung durch wenige Tage zu dauernder Beseitigung dieser Störungen, die wohl zum Teile auf die durch die Brille veränderten Beziehungen zwischen Akkommodation und Convergenz zurückzuführen sind.

Ich füge eine Tabelle der für verschiedene Lebensalter vorgeschlagenen Gläser bei. Die Donders'schen Zahlen sind von der Donders'schen Kurve entnommen unter der Voraussetzung, dass der Nahepunkt auf 22 cm gebracht werden solle und dass der früher emmetropisch Gewesene mit 80 Jahren eine Linsenhypermetropie von ca. 2,5 D. erworben habe.

Vergleicht man diese Gläsernummern mit den in der Praxis als die zweckmäßigsten bewährten, so zeigt sich, dass erstere entschieden zu stark sind, wenigstens für die höheren Lebensjahre, etwa vom 60. Jahre an aufwärts. Ich finde, dass man verhältnismäßig selten in die Lage kommt, bei alten Leuten, die, soweit dies anamnestisch noch ermittelt werden kann, früher emmetropisch waren, stärkere Gläser als 4,5 bis höchstens 5 D. zu verordnen.

Die 2. Tabelle rührt von Landolt her. Hier sind durchweg die Zahlen für den Fall angegeben, dass der Fernpunkt in der Unendlichkeit liege.

Die Gläserkorrektion gilt also für ein im 70. oder 80. Jahre noch emmetropisches Auge; die erworbene Hypermetropie müsste dabei in ähnlicher Weise wie bei der DONDERS'schen Tabelle in Rechnung gezogen werden. Die Tabelle von KATZ ist eine rein empirische.

Alter	Korrektionsglas für Nahearbeit nach DONDERS	nach LANDOLT	nach KATZ
40	0	0,25	0,75
45	1	1,0	1,5
50	2	1,5	2,0
55	3	2,0	2,5
60	4	2,5	3,0
65	4,5	2,75	3,25
70	5,5	3,3—(3,5)	3,5
75	6		
80	7		

Diese Werte können selbstverständlich nur einer allgemeinen Orientierung dienen. Danach ließe sich für sonst normale Augen, an die nur die gewöhnlichen Anforderungen (Sehen in ca. 30 cm) gestellt werden, die Dioptrienzahl des nötigen Glases angenähert finden, indem man in dem DONDERS'schen Diagramm den Abstand des entsprechenden Punktes der Nahepunktslinie von der Abscisse abmisst, die 3,3 (bezw. 4) Dioptrien entspricht, und in Dioptrien ausdrückt.

Aber auch beim Verordnen der einfachen Presbyopenbrillen soll stets individualisiert werden mit Berücksichtigung der Art der Beschäftigung des Einzelnen, des Abstandes, in welchem diese gewöhnlich vorgenommen wird, der Sehschärfe des Auges u. a. m. Bei sehr guter Sehschärfe wird im allgemeinen das Glas genügen, welches den Nahepunkt in den Abstand verlegt, in dem der Presbyopische seine Arbeit zu verrichten wünscht. Zum Sehen nicht notwendig, aber im Hinblick auf das vorher Gesagte zur Vermeidung öfteren Brillenwechsels praktisch ist es, wenn ein um etwa 0,5 bis höchstens 1 D. stärkeres Glas gegeben wird. Ein Emmetropischer, dessen Nahepunkt in 50 cm liegt und dessen Arbeitsentfernung ca. 33 cm beträgt, kommt mit + 1,0 D. gut aus, wird aber auch mit + 1,5 oder 1,75 D. in der gleichen Entfernung gut lesen können. Für viele Beschäftigungen mit besonders feinen Gegenständen ist es wünschenswert, um größere Netzhautbilder zu ermöglichen, den Nahepunkt auf 25 cm oder event. noch näher heranzubringen. Das Gleiche wird, aus demselben Grunde, bei ungenügender Sehschärfe oft erwünscht sein. Bei dynamischer Convergenz wird, innerhalb gewisser Grenzen, das Sehen in kleinerem Abstande vorgezogen werden, bei dynamischer Divergenz das Sehen in etwas größerem. Die angedeuteten Gesichtspunkte dürften bei entsprechender

Berücksichtigung individueller Umstände zur Ermittelung der zweckmäßigsten Presbyopengläser genügen.

Dass bei leichter Myopie ein deren Grade entsprechend schwächeres, bei Hypermetropie ein entsprechend stärkeres Glas zu verschreiben ist, als bei Emmetropie, ergiebt sich aus der Betrachtung des Donders'schen Diagramms von selbst. Dabei hat man sich nur zu erinnern, dass die Akkommodationsbreite des Übersichtigen und des Kurzsichtigen die gleiche ist, wie die des gleichaltrigen Emmetropen. Bei höheren Graden von Myopie als 3—4 D. treten presbyopische Beschwerden im allgemeinen überhaupt nicht auf. Erst wenn hier im höchsten Alter durch die Linsenveränderungen der Grad der Myopie auf weniger als 3 D. zurückgegangen ist, werden schwache Konvexgläser für die Nähe nötig. Augen mit einer Kurzsichtigkeit von weniger als 3 Dioptrien bedürfen im Alter zum deutlichen Sehen in der Nähe Konvexgläser, zum Fernsehen Konkavgläser.

Mehrfach ist beobachtet worden, dass alte Leute, die lange Jahre nur mit Konvexbrillen in der Nähe sehen konnten, im hohen Alter wieder imstande waren, ohne Gläser zu lesen. Solche, als »second sight of old people« beschriebene Fälle (Swan Burnett) sind nicht auf Wiederkehr der Akkommodation, sondern auf erworbene Linsenmyopie zu beziehen (genaueres s. § 145).

Adamük und Woinow fanden an presbyopischen Augen während der Akkommodation eine Verkleinerung des hinteren Linsenbildchens um $1/5$ und mehr, während bis dahin selbst an jüngeren Augen durch Helmholtz und Knapp nur eine Verkleinerung um $1/12$ gemessen worden war. Die Ansicht, dass diese Veränderungen für das presbyopische Auge charakteristisch seien, wurde durch Schoeler und Mandelstamm widerlegt, welche auch bei jugendlichen Augen eine Verkleinerung um $1/5$ beobachteten.

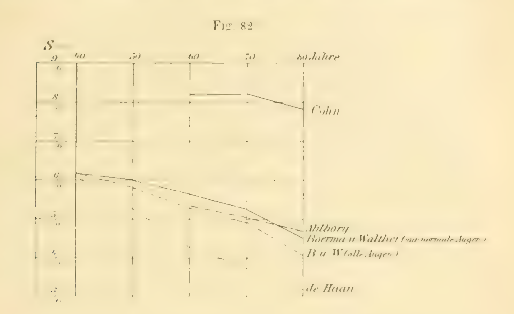
§ 110. Nach Kepler (Dioptrice) bezeichnete Aristoteles als »πρεσβῦται« diejenigen, welche nur Entferntes deutlich, Nahes aber undeutlich sehen; Hirschberg giebt aber an, der Name πρεσβύτης komme bei Aristoteles nur in der Bedeutung »Greis« vor. Kepler hat schon hervorgehoben, es sei »irrig, dass nur alte Leute nicht imstande seien, nahe Gegenstände deutlich zu sehen«; er erkannte richtig das Wesentliche des Greisenauges darin, dass nur in einer Entfernung deutlich gesehen wird; solche Leute hätten »oculum jam indurescentem, adsuefactum et quasi senilem«. Die in der Jugend keinerlei Sehstörung hatten, sehen im Alter nur Entferntes deutlich. Soweit hatte Kepler also durchaus klare Anschauungen über die Presbyopie. Aber er bezog das senile Hartwerden auf die Augenhäute, durch deren Abstandsänderung von der Linse er die Akkommodation erklärte. Der erste, der die Fernsichtigkeit älterer Leute auf Härter- und Starrerwerden der Linse zurückführte, scheint der ältere Brisseau (1705) gewesen zu sein.

§ 111. Es mögen an dieser Stelle einige Angaben über das Verhalten der normalen Sehschärfe in verschiedenen Lebensaltern Platz finden, deren

Kenntnis für die Beurteilung hierher gehöriger Störungen von Wichtigkeit ist.

Derartige Messungen wurden zuerst von Vroesom de Haan in größerem Umfange vorgenommen (1862). Das Ergebnis ist in dem nebenstehenden Diagramm (Fig. 82) wiedergegeben (teilweise nach Cohn). Haan fand die Sehschärfe bei 80 Jährigen nur ca. $= \frac{3,3}{6}$ der bei Jugendlichen gefundenen.

Fig. 82



Spätere Untersuchungen von Cohn (1874, 1894), Boerma und Walther (1893) und Ahlborn (1895) führten zu wesentlich anderen Ergebnissen, insofern diese Forscher auch im höchsten Alter eine beträchtlich bessere Sehschärfe fanden, als de Haan.

Cohn stellte bei seinen Untersuchungen von 100 Leuten jenseits des 60. Jahres fest, dass 44% der Augen Sehschärfe > 1, 17% $S = 1$ hatten; die durchschnittliche Sehschärfe betrug bei den 60 Jährigen und bei den 70 Jährigen $^{27}/_{20}$, bei den 80 Jährigen noch $\frac{7,8}{6}$. Zu den Messungen von Boerma und Walther wurden nur solche Augen herangezogen, wo die Untersuchung mit dem Augenspiegel bei enger Pupille keine leicht erkenntliche Trübungen ergab. Die Augen, die auch nach Korrektion eines Refraktionsfehlers nicht volle Sehschärfe erreichten, wurden bei erweiterter Pupille genau mit dem Lupenspiegel untersucht. De Haan, der nur 28 Menschen (ohne Augenkrankheiten) von mehr als 60 Jahren prüfte, hatte alle Augen sorgfältig mit bloßem Auge, viele auch mit dem Augenspiegel untersucht. Aus dieser Verschiedenheit der Methoden sind die Verschiedenheiten der Ergebnisse genügend erklärt.

Die neueren Untersuchungen zeigen, dass die in der üblichen Weise geprüfte Sehschärfe auch im 80. Jahre kaum geringer als 1 ist. (Boerma und Walther: $\frac{5,2}{6}$, Ahlbory: $\frac{4,7}{6}$; bei Messung im Freien fand Cohn sie sogar größer als 1.) Immerhin zeigt sich auch nach diesen Beobachtungen eine kontinuierliche Abnahme der Sehschärfe im Alter. Als Ursache kommt wohl in erster Linie eine Vermehrung der schon in der jugendlichen, normalen Linse vorhandenen feinen Trübungen in Betracht. Hierdurch, zum Teil aber auch unabhängig davon, nehmen die physiologischen Unregelmäßigkeiten der Strahlenbrechung in der Linse mit dem Alter zu; oft sehen wir in den Linsen älterer Leute bei Spiegeluntersuchung, ohne dass wirkliche Trübungen vorhanden wären, eine unregelmäßige Lichtbrechung. Auch die physiologischen Glaskörpertrübungen nehmen im Alter häufig zu. Die Pupille wird mit dem Alter im allgemeinen beträchtlich enger; dies ist vorteilhaft für die Verkleinerung der Zerstreuungskreise bei ungenauer Einstellung und für die Ausschaltung von Störungen, die nicht gerade in dem bei enger Pupille in Betracht kommenden Teile des optischen Apparates liegen; dagegen kann die Sehfähigkeit durch die Pupillenverengerung verschlechtert werden infolge der Zunahme der Beugungsaberration. Schon bei 2 mm weiter Pupille stellt in einem sonst idealen Auge das Netzhautbild eines Punktes ein Beugungsscheibchen von 0,0122 mm Durchmesser dar. Die hierdurch bedingte Sehstörung wird sich um so mehr geltend machen, je mehr die Lichtstärke des Netzhautbildes im Alter abnimmt. Letzteres ist der Fall einmal infolge der engen Pupille, ferner infolge der zunehmenden optischen Dichte der Linse, welche im Alter auch beim Normalen beträchtlich größere Lichtmengen reflektiert, als in der Jugend, endlich wegen der Zunahme der Trübungen in Linse und Glaskörper. (Die sphärische Aberration der Linse kann vielleicht im jugendlichen Auge zum Teile aufgehoben werden durch Abnahme des Brechungsindex gegen den Linsenäquator zu; diese Abnahme dürfte bei der senilen Linse geringer sein und es könnte dadurch eine Vermehrung der sphärischen Aberration bedingt werden; sie wird aber wegen der engen Pupille des senilen Auges wenig zur Geltung kommen.)

Die genannten Umstände scheinen mir die beobachtete Abnahme der Sehschärfe im Alter befriedigend zu erklären; jedenfalls bieten die bisher vorliegenden Beobachtungen keine genügende Anhaltspunkte für die Annahme, dass Veränderungen in der Netzhaut, im Sehnerven oder im Gehirne selbst auch physiologischer Weise bei der Abnahme der Sehschärfe im Alter ätiologisch eine nennenswerte Rolle spielen, wie vielfach angenommen wird.

Akkommodationslähmung.

§ 112. Wenn ein emmetropisches Auge bei normaler Sehfähigkeit für die Ferne nicht mehr imstande ist, in der Nähe deutlich zu sehen, so können die Ursachen dafür im passiven oder im aktiven Teile des Akkommodationsapparates, in der Linse oder im Ciliarmuskel gelegen sein. Die Änderungen im passiven Teile, welche die Unfähigkeit zum Nahesehen mit sich bringen, haben wir als einen physiologischen Vorgang kennen gelernt und in den vorhergehenden Paragraphen erörtert. Ob etwa abnorm frühes Hartwerden der Linse eine Art von Akkommodationslähmung vortäuschen kann, ist bis jetzt nicht genügend bekannt.

Die Änderungen im aktiven Teile des Akkommodationsapparates, im Ciliarmuskel, welche eine ähnliche Funktionsstörung mit sich bringen können, werden unter der Bezeichnung Akkommodationslähmung bezw. -schwäche zusammengefasst. Der Umstand, dass die Art der Sehstörung in beiden Fällen häufig die gleiche ist, (Unfähigkeit in der Nähe zu sehen bei erhaltener Sehfähigkeit für die Ferne), hat frühere Forscher mehrfach dazu geführt, beide Zustände zusammenzuwerfen; so hat Himly die Akkommodationsparese als plötzlich auftretende Presbyopie beschrieben. Jede Störung im passiven Teile des Apparates, jede Verminderung der Elasticität der Linse muss in entsprechender, objektiv nachweisbarer Akkommodationsbeschränkung zum Ausdrucke kommen. Bisher wurde allgemein angenommen, dass ebenso auch jede Parese des Ciliarmuskels zu Verkleinerung der Akkommodationsbreite, Hinausrücken des Nahepunktes führen müsste. Die Bezeichnung Akkommodationsparese wurde allgemein als gleichbedeutend mit Ciliarmuskelparese angesehen; daraus sind verschiedene Irrtümer entsprungen. Von der Ciliarmuskelkontraktion, die ein gesundes Auge leicht aufbringen kann, kommt mit zunehmendem Alter wegen des Hartwerdens der Linse ein immer kleinerer Teil optisch zum Ausdrucke; im höheren Alter ist die gesamte Ciliarmuskelkontraktion latent geworden. Daraus folgt, dass alle jene Umstände, welche die Kontraktionsfähigkeit des Ciliarmuskels beeinträchtigen, im allgemeinen um so eher zu einer objektiv nachweisbaren Akkommodationsbeschränkung führen müssen, je jünger der Betreffende, je kleiner also seine latente Akkommodationsbreite ist. Bei einem 70Jährigen kann der Ciliarmuskel vollständig gelähmt sein, ohne dass die Lage des manifesten Nahepunktes eine andere wäre, als bei normaler Leistungsfähigkeit des Muskels. Mit unseren heutigen Messungsmethoden, die lediglich eine Bestimmung des manifesten Nahepunktes gestatten, sind wir also nicht in der Lage, auch nur annähernd irgend welche zahlenmäßige Anhaltspunkte für den Grad einer Ciliarmuskelparese zu gewinnen. Ein 30Jähriger kann bei völlig normaler Nahepunktslage eine ebenso große Ciliarmuskelparese haben, wie ein 10jähriges Kind, dessen manifeste

Akkommodationsbreite nur etwa die Hälfte der normalen beträgt, dessen Nahepunkt also entprechend weit hinausgerückt ist. Bei Patienten jenseits des 65. bis 70. Lebensjahres sind wir mit unseren heutigen Untersuchungsmethoden in keiner Weise imstande festzustellen, ob der Ciliarmuskel normal, geschwächt oder vollständig gelähmt ist.

Vielfach wird aus dem Umstande, dass alte Leute mit ihrer Brille in gewöhnlicher Entfernung gut sehen können, auf einen normalen Ciliarmuskel geschlossen. Mauthner berichtet über einen 54jährigen Mann, dessen beide Pupillen erweitert und vollkommen starr sowohl bei Lichteinfall als bei akkommodativen Impulsen waren. »Die Akkommodationsbreite ist dagegen für beide Augen vollkommen normal, dem Alter entsprechend.« Daraus schließt Mauthner, dass die Akkommodation intakt und die entsprechenden Kernpartien des Oculomotorius frei seien. Bei einem 65jährigen Manne fand er sämtliche vom Oculomotorius versorgten äußeren Muskeläste paretisch, die Pupille aber reagierte auf Licht und auf Akkommodationsintentionen. Aus der Thatsache, dass der 65Jährige mit Hilfe seiner Brille gewöhnliche Druckschrift las, schloss Mauthner auf einen intakten Akkommodationsmuskel. Thatsächlich kann aber in solchen Fällen der Ciliarmuskel ganz oder fast ganz gelähmt sein.

Aber auch im jugendlichen Alter muss nicht jede Ciliarmuskelparese sofort in einem Hinausrücken des Nahepunktes zum Ausdrucke kommen. Schon in der zweiten und dritten Lebensdekade kann eine nicht unbeträchtliche Parese des Ciliarmuskels bestehen, ohne objektiv nachweisbar zu sein. Dies ist vielmehr erst möglich, wenn die Parese einen so hohen Grad erreicht, dass auch bei größtmöglicher Ciliarmuskelkontraktion die Zonulafasern nicht vollkommen entspannt werden. Der objektive Nachweis einer Ciliarmuskelparese ist erst dann möglich, wenn die Parese größer ist, als die latente Akkommodationsbreite.

Diese Thatsache ist von Bedeutung für das Studium von Erkrankungen, in deren Verlauf Akkommodationsparesen vorkommen können; auch bei der Untersuchung von Droguen, die auf den Ciliarmuskel wirken, hat die Nichtberücksichtigung dieses Umstandes wiederholt zu Irrtümern geführt. Ein Mittel, das die Leistungsfähigkeit des Ciliarmuskels nur bis zu einem gewissen Grade schwächt, aber nicht aufhebt, wird in jugendlichen Augen mit kleiner latenter Akkommodationsbreite viel eher ein Hinausrücken des Nahepunktes hervorrufen, als bei älteren. Eine medikamentös hervorgerufene Parese des Ciliarmuskels muss unter sonst gleichen Verhältnissen bei jungen Personen in höherem Maße zu Tage treten, als bei älteren. So fand Treutler (1897) nach Einträufeln von 2 Tropfen einer 2%igen Euphthalminlösung bei einem 11Jährigen Abnahme der manifesten Akkommodationsbreite um 4,3 D., während bei einem 38Jährigen keine objektiv nachweisbare Abnahme der Akkommodationsbreite durch das Mittel hervorgerufen wurde. Auf die gleiche Ursache dürfte es zum großen Teile, wenn nicht ausschließlich, zurückzuführen sein, dass nach Einträufeln einer stärkeren (10%igen

Euphthalminlösung der Nahepunkt um so später hinausrückte, je älter die betreffende Person war.

Aus dem Umstande, dass im Alter von etwa 40 Jahren das Cocain auf die Akkommodation keinen nachweislichen Einfluss mehr hat, schloss Tscherning, dass es überhaupt nicht auf die Akkommodation wirke; aus dem vorhergehenden ergiebt sich ohne weiteres die Irrigkeit einer solchen Schlussfolgerung.

Einen weiteren experimentellen Beleg für die Richtigkeit der mitgeteilten Anschauungen bietet die entoptische Beobachtung der akkommodativen Linsenverschiebungen nach Einträufeln von akkommodationslähmenden Mitteln. Träufle ich mir z. B. Homatropin ins Auge, so werden die entoptisch sichtbaren Linsenverschiebungen, die dem Herabsinken der Linse bei maximalem Akkommodieren entsprechen, bald nach der Einträufelung kleiner und kleiner und bleiben nach einigen Minuten auch bei stärkster Akkommodationsanstrengung vollständig aus; bestimme ich meinen Nahepunkt zu der Zeit, wo die Linsenverschiebungen eben unmerklich geworden sind, so finde ich seine Lage noch unverändert; erst einige Zeit später rückt er dann vom Auge ab. Der Versuch beweist, dass man eine normale »Akkommodationsbreite« noch in einem Stadium der Giftwirkung finden kann, wo die Lähmung des Ciliarmuskels schon eine beträchtliche Höhe erreicht und jede latente Ciliarmuskelkontraktion unmöglich gemacht hat. Diese Ausführungen zeigen die Notwendigkeit einer strengen Scheidung zwischen Akkommodationsparese und Ciliarmuskelparese. Jede Verminderung der manifesten Akkommodation zeigt das Vorhandensein einer Ciliarmuskelparese an, aber nicht jede Ciliarmuskelparese kommt in einer Verminderung der manifesten Akkommodation zum Ausdrucke. Eine anscheinend geringfügige »Akkommodationsparese« bei einer älteren Person entspricht einer sehr viel größeren Ciliarmuskelparese, als eine anscheinend viel größere »Akkommodationsparese« bei jugendlichen Kranken.

So, wie unter Umständen bei selbst beträchtlicher Ciliarmuskelparese der Nahepunkt an normaler Stelle gefunden wird, konnte andererseits unter gewissen Bedingungen bei normaler Ciliarmuskelkontraktion scheinbares Hinausrücken des Nahepunktes, d. h. Abnahme der Akkommodationsbreite, vorkommen. Wenn die Pupille abnorm weit ist (paralytische Mydriasis), so wird die »Akkommodationslinie« (s. § 43) wesentlich kürzer, als bei der normalen, infolge der Nahepunktseinstellung relativ sehr engen Pupille. Der in der üblichen Weise ermittelte scheinbare Nahepunkt muss also näher zu dem wirklichen heran, somit von dem Auge abrücken, wenn dieses aberrationsfrei ist. Derartige Beobachtungen werden aber selten mit genügender Sicherheit gemacht werden können, da die ganzen optischen Bedingungen bei weiter Pupille, wegen der von der Wölbung der optischen Zone oft so weit abweichenden Wölbung der peripheren Teile der brechenden Medien, zu sehr von jenen bei enger Pupille verschieden sind.

Das Mitgeteilte möge genügen, um zu zeigen, wie schwierig in vielen Fällen die Diagnose einer Lähmung des Ciliarmuskels sein kann und wie mangelhaft noch unsere Methoden in dieser Beziehung sind.

§ 113. Die subjektiven Störungen bei Lähmung des Ciliarmuskels sind nach Refraktion und Alter sehr verschieden. Die größten Störungen werden im hypermetropischen Auge hervorgerufen, da hier nicht nur das Sehen in der Nähe, sondern auch das in der Ferne beeinträchtigt ist. Etwas geringer sind die Störungen beim Emmetropischen, da hier wenigstens das Sehen in der Ferne ungeändert bleibt. Am geringsten sind sie bei Myopie; beträgt diese mehr als 3—4 Dioptrien, so kann (solange nicht Konkavgläser getragen werden), auch eine vollständige Akkommodationslähmung ohne subjektive Störungen verlaufen. Aus dem im vorigen Paragraphen Gesagten geht hervor, dass auch ältere Leute totale Akkommodationslähmung haben können, ohne davon das geringste zu merken, ja, ohne dass diese selbst bei eigens darauf gerichteter Untersuchung nachweisbar wäre. (Die Beobachtung, ob bei willkürlichem, starkem Akkommodationsimpulse die Linse herabsinkt oder nicht, wäre nur in Ausnahmefällen bei sehr geübten und intelligenten Patienten verwertbar.)

Eine gewisse Schwäche des Ciliarmuskels beobachten wir zuweilen bei allgemeiner Schwäche, z. B. nach erschöpfenden Krankheiten, bei schweren Graden von Bleichsucht u. s. w. Hierher gehören wohl auch die von Collins mehrfach während der Laktation sowie die von Landesberg bei Masturbation beobachteten Störungen, sowie jene, die Theobald unter dem Namen »subnormale Akkommodationskraft« zusammenfasst. Man findet den Nahepunkt an normaler Stelle, der Patient klagt aber über rasche Ermüdung beim Versuche, längere Zeit in der Nähe zu arbeiten, wozu sich auch ein Gefühl von Druck oder Kopfschmerz bezw. typisch asthenopische Beschwerden gesellen können; Entlastung des Ciliarmuskels durch Konvexgläser bringt häufig schnelle Besserung. Die Störungen sind wohl wesentlich auf eine rasche Ermüdbarkeit des Muskels zu beziehen. Ob sie, wie Theobald meint, auch durch geringere Elasticität der Linse bedingt sein können, lasse ich dahin gestellt sein.

Unter den Ursachen für vorübergehende Akkommodationslähmung ist Diphtherie die häufigste. Das klinische Bild und die Aetiologie der Sehstörungen nach Diphtherie sind von Donders in klassischer Form dargestellt worden. Vor ihm wurden diese Störungen in der Regel (Guimier 1828, Ozanam 1835) unter der Bezeichnung »Amblyopie« zusammengefasst. Durch Donders und die späteren Untersucher sind heute folgende Thatsachen festgestellt: Die Akkommodationslähmung tritt ausschließlich im Gefolge ächter Diphtherie, niemals nach anderen Formen der Angina auf. Sie wird am häufigsten in der ersten bis dritten Woche nach Ablauf der Infektion,

selten später beobachtet; sie ist immer doppelseitig und auf beiden Augen in angenähert gleicher Stärke nachweisbar. Der Grad der Lähmung steht in keiner Beziehung zur Schwere der Erkrankung: Schwere diphtheritische Infektionen können abheilen, ohne zu Akkommodationslähmung zu führen, andererseits werden nach abortiv verlaufenden Infektionen nicht selten schwere Lähmungen beobachtet. Die Prognose ist absolut günstig; in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist 4—5 Wochen nach Eintritt der Lähmung das Auge wieder wie früher funktionsfähig. Die Lähmung wird am häufigsten nach Rachendiphtherie beobachtet, tritt aber auch nach diphtheritischer Wundinfektion und nach Vaginaldiphtherie auf. Über die Häufigkeit der Lähmung ist naturgemäß schwer ein Urteil zu gewinnen. Nach einer Statistik von Rosenmeyer bei einer Epidemie in Erlangen wäre in etwa 8% der Diphtheriefälle Lähmung der Akkommodation beobachtet worden. Die Irismuskulatur ist fast ausnahmslos unbeteiligt. Gleichzeitige Lähmung äußerer Augenmuskeln gehört zu den größten Seltenheiten. Eserin wirkt auf den Ciliarmuskel bei der postdiphtheritischen Lähmung ganz ebenso wie im gesunden Auge. Nach Aufhören der Eserinwirkung tritt die Lähmung unvermindert wieder zu Tage, therapeutisch ist daher von der Eserinbehandlung nichts zu erwarten. Das Behring'sche Heilserum hat nach allen bis jetzt vorliegenden Erfahrungen keinen Einfluss auf den Verlauf der Lähmung. Von verschiedenen Seiten wird angegeben, dass seit Anwendung des Serums die Lähmungen eher häufiger als früher zur Beobachtung kommen (Greeff und Janowsky).

Über das Zustandekommen der postdiphtheritischen Lähmung wissen wir so gut wie nichts. Manches spricht für die Annahme einer Kernaffektion, nur ist dann das Freibleiben der Irismuskulatur auffällig, deren Kern jenem des Ciliarmuskels dicht anliegt. Gegen eine Erkrankung des Ciliarmuskels selbst spricht die uneingeschränkte Wirkung des Eserins. Manche Autoren, wie Schirmer, sehen die Ursache der Lähmung in einer durch die diphtheritischen Toxine hervorgerufenen Neuritis des zwischen Auge und Ganglion ciliare gelegenen Teiles der Ciliarnerven.

Sehr viel seltener als die diphtheritischen sind die Akkommodationslähmungen infolge von Vergiftung mit faulem Fleisch, Eierpilzen (Weiss, Büchsenaustern u. s. w. Als Ursache dieser, meist als Botulismus bezeichneten Erkrankung haben van Ermengen und P. Römer einen anaeroben Bacillus nachgewiesen.

Eine sehr große Gruppe von Akkommodationslähmungen bilden ferner die als Teilerscheinung einer totalen oder partiellen Oculomotoriuslähmung auftretenden Formen; bei partieller, durch Kernerkrankung bedingter Lähmung ist meist der Sphincter pupillae mit erkrankt, was nach der anatomischen Anordnung der beiden Kerngruppen leicht verständlich ist. Vorübergehende Akkommodationslähmungen sind ferner als Teilerscheinung bezw. im Gefolge

der verschiedensten Allgemeinerkrankungen beschrieben worden; ich erwähne u. a.: Masern, Influenza (**Pooley**, **Uhthoff**, **Schirmer**, **Stöwer** u. a.), Skorbut (**Belowsky**), Hereditäre Lues des Centralnervensystems (**Hoffmann**), multiple Neuritis (**Oppenheim**), Hysterie, Neurasthenie (**Grandclément**), Alkoholneuritis (**Bristowe**), Mumps (**Baas**, **Burnett**), Scharlach, Rekurrens (**Jacobson**), Gastralgie (**Unterharnscheidt**). Unter den selteneren Erscheinungsformen sei angeführt: doppelseitige Akkommodationslähmung nach Trauma (v. **Grolman**), bei chronischer Akonitinvergiftung (**Wolffberg**), Alkoholvergiftung (**Romiée**), nach Blitzschlag (**Vossius**). Nach **Hirschberg** (1886) ist bei Diabetes die durch Akkommodationsbeschränkung bedingte Sehstörung, die sich durch Presbyopie oder Asthenopie kundgebe, die häufigste. (Es ist nicht unwahrscheinlich, dass *diese* Art der Akkommodationsbeschränkung zu einem mehr oder weniger großen Teile auf Veränderungen in der *Linse* zu beziehen ist.) Vielfach wird bei drohender sympathischer Ophthalmie »sympathische« Akkommodationsparese als ein wichtiges Symptom der beginnenden Erkrankung angeführt (**Fuchs**, **Cuignet** u. a.).

Die *Therapie* hat neben der Behandlung des Grundleidens folgendes zu berücksichtigen: Bei vorübergehenden Lähmungen (Diphtherie, Botulismus u. s. w.) sind Nahebrillen dann zu verordnen, wenn der Kranke durch äußere Umstände während der Dauer der Lähmung zu Nahearbeit gezwungen ist; das Glas ist so zu bemessen, dass der Kranke, ohne zu akkommodieren, in 25—30 cm deutlich sehen kann; in der Regel kann man es dem Patienten selbst überlassen, wann er das Naheglas wieder ablegen soll. Konvexe Fernbrillen sind angezeigt, wenn infolge der Hypermetropie des Kranken sein Fernsehen in störender Weise beeinträchtigt ist. Eine Übung des Ciliarmuskels, etwa in der Weise, dass man allmählig immer schwächer werdende Konvexgläser giebt, ist bei den diphtheritischen Lähmungen überflüssig, kann aber z. B. bei den auf leichter Ermüdbarkeit des Muskels beruhenden Formen von Akkommodationsschwäche nützlich sein.

§ 114. Unter den Arzneimitteln zur Erzeugung einer Akkommodationslähmung sind die wichtigsten Atropin, Homatropin, Scopolamin, Euphthalmin, Cocain.

Das Atropin wirkt lähmend auf die Nervenenden des Oculomotorius. Die Pupille wird weit und reagiert nicht mehr auf Licht und Convergenz, der Ciliarmuskel ist gelähmt, das Auge auf seinen Fernpunkt eingestellt. Auf die Muskelfasern des Sphincter pupillae ist das Atropin ohne Wirkung. Die direkte elektrische Erregbarkeit des Muskels wird auch durch große Atropindosen nicht beeinflusst (**Bernstein** und **Dogiel**, **Schultz**). Die frühere Annahme, Atropin wirke auch reizend auf den Dilatator pupillae, ist durch neuere Beobachtungen und insbesondere durch die Thatsache widerlegt, dass Atropin allein noch nicht maximale Mydriasis hervorruft. Eine durch

Atropin erweiterte Pupille wird durch Reizung des Sympathicus (z. B. durch Einträufeln von Cocain) noch mehr erweitert. Exstirpation des Gangl. cervicale supremum hat Verengerung der entsprechenden Pupille zur Folge. Träufelt man unmittelbar nach der Exstirpation, wenn also die Nervenendigungen der Sympathicusfasern noch erhalten sind, Atropin ein, so bleibt die Pupille doch deutlich enger, als am gesunden Vergleichsauge; das gleiche ist der Fall, wenn Atropin erst längere Zeit nach Exstirpation des Ganglion eingeträufelt wird, die Sympathicusfasern also bereits zu Grunde gegangen sind (Schultz). Betupfen des Ganglion ciliare mit Atropin in 1 %iger Lösung hat bei Katzen einen hemmenden, aber nicht lähmenden Einfluss auf das Ganglion; schwache Atropinlösungen (von 0,001—0,1 %) haben auf die kurzen Ciliarnerven schwächenden, aber keinen lähmenden Einfluss (Schultz).

Die Wirkung des Atropins tritt je nach der Koncentration der angewendeten Lösung 5—10 Minuten nach der Einträufelung ein und kann 5—8 Tage und noch länger andauern. Zur Pupillenerweiterung und Akkommodationslähmung genügen minimale Mengen Atropin.

Daturin wirkt dem Atropin ähnlich. Nach manchen Autoren soll es mit letzterem identisch sein; nach Ladenburg ist es ein Gemisch von Atropin und Hyoscyamin. Duboisin, (nach Ladenburg ein Gemisch von Hyoscin und Hyoscyamin) soll dem Atropin ähnlich, doch noch stärker wirken; es ist keine einheitliche Substanz. Hyoscin und Hyoscyamin wirken im wesentlichen wie Atropin, ebenso das Scopolamin. Curare ruft am Vogelauge Mydriasis und Akkommodationslähmung hervor, vielleicht nicht nur durch Lähmung der peripheren motorischen Nervenendigungen, sondern möglicherweise auch durch direkte Muskellahmung, denn die direkte elektrische Reizung bleibt erfolglos (Heine). Ähnlich wie Curare, nur schwächer, wirkt Cotarnin. Dem Atropin ähnlich, nur schwächer, wirkt Homatropin. Seine Wirkung tritt meist etwas später ein als die des Atropin; es kann schon in 1—2 %iger Lösung den Ciliarmuskel in hohem Grade schwächen, doch dauert diese Parese oft nur wenige Stunden, in anderen Fällen 1/2—1 Tag; die Pupillenerweiterung ist häufig noch etwas länger nachweisbar. Euphthalmin bedingt in 5—10 %iger Lösung beträchtliche Pupillenerweiterung ungefähr in der gleichen Zeit, wie 1 %ige Homatropinlösung. Der Ciliarmuskel wird durch das Euphthalmin weniger geschwächt, als durch Homatropin, und die Parese geht rascher zurück, als jene nach Homatropin (Treutler).

Einträufeln von Cocain erzeugt zunächst Erweiterung der Pupille durch Reizung der Sympathicusfasern. Nach Exstirpation des Ganglion cervicale supremum ruft Cocain (in schwachen Lösungen) keine Pupillenerweiterung mehr hervor (Schöler, Pflüger). Die Muskelfasern des Dilatator pupillae selbst werden durch das Cocain nicht beeinflusst (Schultz). In schwacher Konzentration hat das Cocain auf die Nervenendigungen des Oculomotorius bei Hund und Katze keinen nachweisbaren Einfluss: Reizung des Oculomotorius, Lichteinfall und Convergenz bedingen noch deutliche Pupillenverengerung. In stärkeren Lösungen wirkt aber das Cocain bei den

genannten Thieren lähmend auf die Nn. ciliares breves (SCHULTZ). Beim Menschen ruft Cocain schon in schwachen Lösungen deutliche Parese des Ciliarmuskels hervor; die Gründe, warum eine solche nicht immer auch in einer »Akkommodationsparese«, d. h. Hinausrücken des Nahepunktes, zum Ausdrucke kommt, sind oben erörtert worden.

Die durch Cocain in schwacher Lösung hervorgerufene Pupillenerweiterung ist in erster Linie einer Wirkung auf die Nervenfasern des Dilatator zuzuschreiben, nicht aber auf die im Sympathicus verlaufenden Fasern für die Irisgefäße. SCHULTZ durchschnitt bei einer Katze auf der einen Seite die vom Ganglion cervicale supremum ausgehenden Dilatatorfasern, auf der anderen Seite die von diesem ausgehenden Carotisfasern. Bei Reizung des Halssympathicus trat Pupillenerweiterung nur auf der Seite auf, auf welcher die Dilatatorfasern erhalten waren. Wurde nach längerer Zeit (8—10 Tagen) Cocain in beide Augen eingeträufelt, so erweiterte sich wesentlich nur die Pupille dieser Seite, während die der anderen nur eine geringe (von SCHULTZ auf Lähmung der Ciliarnerven bezogene) Erweiterung zeigte.

§ 115. In der Litteratur werden unter der Bezeichnung »Akkommodationskrampf« vielfach sehr verschiedene Dinge zusammengeworfen. Mancherlei Missverständnisse scheinen mir aus einer nicht genügend scharfen Begriffsbestimmung des sogenannten Akkommodationskrampfes hervorgegangen zu sein. Wir wissen, dass bei jugendlichen Hypermetropen der Ciliarmuskel dauernd in einem gewissen (innerhalb ziemlich weiter Grenzen variablen) Kontraktionszustande sich befindet, der nach Vorsetzen des voll korrigierenden Konvexglases auch im Interesse des deutlichen Sehens nicht, wenigstens nicht sofort, aufgegeben werden kann. Ich halte es nicht für zweckmäßig, auch diese Kontraktionen als »Ciliarmuskelkrampf« zu bezeichnen und zwar aus folgendem Grunde: Die Muskelkontraktion ist hier auf eine zweckmäßige, im Interesse des deutlichen Sehens erfolgende Innervation zurückzuführen, deren physiologischer Charakter sich auch in dem gleichmäßigen Auftreten an beiden Augen und in der gesetzmäßigen Verknüpfung mit der Convergenzinnervation (und, so weit bekannt, auch mit der Pupillenverengerung) kund giebt.

Beim ersten Vorsetzen der Konvexgläser erfolgt zwar im allgemeinen nicht sofort die zum deutlichen Sehen in die Ferne nötige Entspannung, weil dem Übersichtigen die hierzu erforderliche Innervation ganz ungewohnt ist. Wird aber durch fortgesetztes Tragen der Gläser Gelegenheit gegeben, die Entspannung zu üben, so geht in dem Maße, als die verordneten Konvexgläser stärker werden, die dauernde Ciliarmuskelkontraktion, wieder im Interesse des deutlichen Sehens, mehr oder weniger rasch zurück. Diese kann somit als ein physiologischer Anpassungsvorgang betrachtet

werden, dem nichts »krampfhaftes« anhängt. Grundverschieden hiervon ist die pathologische Ciliarmuskelkontraktion, die nach vielfachen Angaben in der Litteratur unter Schulkindern sehr häufig sein soll. Da diese vorwiegend bei ohnehin schon kurzsichtigen Kindern auftreten soll, so stellt sie eine durchaus unzweckmäßige Innervation dar, die nicht, wie jene erste Form, auf ein Interesse am deutlichen Sehen zurückzuführen ist. Auch vermag das Interesse am deutlichen Sehen nicht, wie dort, diese Ciliarmuskelkontraktion zu verringern. Ferner fehlt, soweit ich aus der Litteratur entnehmen kann, im allgemeinen jede physiologische Gesetzmäßigkeit. Der Ciliarmuskelkrampf soll einseitig auftreten können, die Association mit entsprechender Convergenzinnervation scheint in der Regel vollständig zu fehlen, ebenso die mit der Pupillenverengerung. Giebt doch Mauthner an, dass die Pupillen bei dieser Krampfform sogar abnorm weit seien.

Diese Gegenüberstellung zeigt zur Genüge, dass die beiden in Rede stehenden Formen von Ciliarmuskelkontraktion voneinander ätiologisch wie klinisch grundverschieden sind, und sie rechtfertigt es, wenn ich die Bezeichnung Akkommodationskrampf nur auf die letztere Form angewendet sehen möchte, die allein Gegenstand der folgenden Erörterung ist.

Nach den Litteraturangaben, insbesondere den Schulstatistiken, müsste dieser Akkommodationskrampf sehr häufig sein. Stocker z. B. findet ihn bei 5% der untersuchten Kinder, Schmidt-Rimpler bei 10—30% aller Schüler; werden die Kurzsichtigen allein in Betracht gezogen, so fanden sich einmal unter 10 Myopischen 9 mit Akkommodationskrampf, ein anderes Mal unter 11 Myopischen 7, ein drittes Mal unter 6 Myopischen 4 mit Akkommodationskrampf. Sehr häufig wird einseitiges Vorkommen des Akkommodationskrampfes auch bei beiderseits gleicher Refraktion angegeben, wo also in der Art der Benutzung der Augen kein Anlass für sein Auftreten gefunden werden könnte.

Die Angaben verschiedener Forscher über das klinische Bild des Akkommodationskrampfes weichen übrigens weit voneinander ab. In der Regel wird ein solcher angenommen, wenn bei der subjektiven Refraktionsbestimmung stärkere Konkavgläser erforderlich sind, als bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, oder wenn nach Atropinisierung schwächere Gläser die Myopie korrigieren, als vorher (diese Refraktionsverminderung nach Atropin soll in der Regel 1—2 Dioptrien, zuweilen aber 4—6 Dioptrien, nach Schleich sogar noch mehr betragen können). Hierbei sind aber folgende Fehlerquellen zu berücksichtigen:

Bei Untersuchung im aufrechten Bilde wird in der Regel die Refraktion der Papille oder eines ihr nahe gelegenen Gefäßes ermittelt, bei der subjektiven Prüfung aber die der Fovea, welche insbesondere bei kurzsichtigen Augen von jener beträchtlich verschieden sein kann.

Bei Untersuchung mit künstlich erweiterter Pupille wirken an dem Zustandekommen des Netzhautbildes die peripheren Hornhaut- und Linsenteile mit, welche bei normaler Pupillenweite abgeblendet sind. Die peripheren Hornhautpartien sind aber flacher als die centralen und das gleiche scheint bei vielen Menschen für die peripheren Linsenpartien zu gelten. Diese Abflachung könnte zur Folge haben, dass bei weiter Pupille die Refraktion geringer gefunden wird, als bei enger. Dazu wäre allerdings notwendig, dass die Abflachung groß genug ist, um die positive sphärische Aberration des Auges zu überkompensieren. Für die Hornhaut trifft dies, wie wir sahen, im allgemeinen nicht zu. Dass eine periphere Abflachung der Linse in dieser Richtung wirken muss, ist klar. In gleichem Sinne wird auch eine Abnahme des Totalbrechungsindex der Linse nach der Peripherie hin wirken.

Vielfach spielen auch, wie ich öfter wahrnahm, Ungeschicklichkeit und verschiedene psychische Einflüsse bei den jugendlichen Schulkindern eine Rolle. Nicht selten gelang es mir bei scheinbarer Kurzsichtigkeit, wo die Kinder durch Konkavgläser auffallend besser sahen, als ohne Glas, genau das gleiche Ergebnis durch Vorsetzen eines Planglases, ja des leeren Brillengestelles zu erzielen; das kann man aber nicht wohl Akkommodationskrampf nennen; derartige Beobachtungen, auf die ich schon vor einigen Jahren hinwies, hat später u. a. auch Peters mitgeteilt. Einen weiteren Umstand, der Akkommodationskrampf vortäuschen kann, hat Gullstrand betont: Wenn die Hornhaut eine starke vertikale Asymmetrie zeigt, derart, dass die peripheren Teile des vertikalen Hornhautmeridians stärker abgeflacht sind, während die centralen Hornhautteile gar keinen oder nur geringen inversen Astigmatismus haben, so muss bei Erweiterung der Pupille inverser Astigmatismus auftreten, bezw. schon vorhandener sich noch vergrößern. Der Patient hat somit einen unverhältnismäßig großen Vorteil von einer engen Pupille und daher ein gewisses Interesse daran, möglichst stark zu akkommodieren.

Weiter ist zu betonen, dass in der Zeit vor der allgemeineren Anwendung der skiaskopischen Refraktionsbestimmung und der ophthalmometrischen Hornhautmessung man insbesondere bei ausgedehnteren Schuluntersuchungen nicht in der Lage war, genügend genaue Astigmatismusbestimmungen vorzunehmen, wie sie gerade bei den vorliegenden Fragen erforderlich sind.

Es kommt ferner vor, dass jugendliche Emmetropische durch viele Jahre Konkavgläser von mehreren Dioptrien tragen. Untersucht man solche dann ohne Gläser, so findet man scheinbare Myopie; aber die sie veranlassende Ciliarmuskelkontraktion wird man ebensowenig einen Krampf nennen, als die, welche die latente Hypermetropie der Übersichtigen bedingt (s. o).

Nach meinen Beobachtungen kann die in Rede stehende Form des Akkommodationskrampfes nicht entfernt die Häufigkeit haben, wie es nach vielen Litteraturangaben den Anschein hat. Bei Untersuchung von mehr als 5000 Schulkindern habe ich keinen einzigen unzweifelhaften Fall von Akkommodationskrampf beobachtet. Wenn ich das Vorkommen eines solchen auch nicht vollständig in Abrede stellen will, so halte ich ihn doch jedenfalls für sehr viel seltener, als heute noch vielfach angenommen wird.

Zu ähnlichen Anschauungen, wie die hier vorgetragenen, sind in den letzten Jahren u. a. Schnabel und Peters gekommen. Schnabel bezeichnet Fälle, wie den oben geschilderten, als scheinbaren Akkommodationskrampf und weist auf Beziehungen zu Hysterie hin; (die Bezeichnung »hysterische Sehschwäche« scheint mir deshalb unzweckmäßig, weil die Sehschärfe im allgemeinen normal gefunden wird); Peters beschreibt solche Störungen als autosuggerierte Myopie. Hirschberg schrieb übrigens schon 1884: »Ich glaube kaum an den akuten, gar nicht an den chronischen Akkommodationskrampf. Ich habe bei den vielen Tausenden von Fällen, die ich im aufrechten Bilde und mit Gläsern prüfte, nie einen gesehen.

Bei einigen in der Litteratur erwähnten Fällen wurde nach Atropin eine höhere Refraktion gefunden als vorher: das gleiche sahen Jacobson, Burow, Javal bei diphtheritischer Akkommodationslähmung. Diese Refraktionserhöhung soll in einzelnen Fällen mehrere Dioptrien betragen haben. Dobrowolsky sah nach Atropin eine Zunahme der Kurzsichtigkeit von $^1/_{28}$ auf $^1/_{14}$; in einem anderen Falle schwand nach Eserin eine Kurzsichtigkeit von $^1/_{16}$ vollständig, kehrte aber nach Aufhören der Eserinwirkung wieder. Stölting sah nach Atropin eine Hypermetropie von $^1/_{15}$ »latent« werden. Solche nach Mauthner räthselhafte Beobachtungen werden durch die Annahme verständlich, dass hier die peripheren Partien der brechenden Flächen eine geringere Abflachung als normal zeigen, sodass die peripher einfallenden Strahlen starke positive Aberration und dem entsprechend kürzere Vereinigungsweite haben.

Schmidt-Rimpler unterscheidet vom Akkommodationskrampfe eine »abnorme Akkommodationsspannung«, die nicht selten Myopie vortäusche. Den diagnostisch durchschlagenden Unterschied sieht er darin, »dass die abnorme Akkommodationsspannung bei der ophthalmoskopischen Refraktionsbestimmung schwindet, was beim Akkommodationskrampf nicht der Fall ist«. Wenn er weiter meint, dass bei der abnormen Spannung der Nahepunkt nicht hereingerückt sei, wohl aber gelegentlich beim Krampfe, so kann sich dies nach dem, was wir oben über die Nahepunktslage erfahren haben, nur auf den scheinbaren Nahepunkt beziehen, denn der wirkliche ist auch beim stärksten Akkommodationskrampfe nicht an das Auge herangerückt. Die Erklärung würde vielleicht darin zu suchen sein, dass der Krampf »verhaltnismäßig häufiger« eine Pupillenverengerung zeigen soll, während bei der abnormen Akkommodationsspannung »eher eine Pupillenerweiterung vorkommt«.

Endlich seien kurz einige seltenere Formen von Akkommodationskrampf erwähnt: Axenfeld sah bei einer 6jährigen Patientin mit linksseitiger vollständiger Akkommodationslähmung alle 3—5 Minuten Krämpfe des Levator palpebrae, des Sphinkter und der Akkommodation eintreten. Auch van Santen hat (1875) einen klonischen Akkommodationskrampf (ohne Lähmung) beschrieben. Ferner wurde Akkommodationskrampf beobachtet: von Oliver bei Iritis, von Albrand nach Influenza, von Galezowsky bei Tabakvergiftung, von Dunn, Schöler, Pereyra, Leber, Reich u. a. nach Verletzung bezw. Erkrankung der Supra- oder Infraorbitalnerven oder anderer Zweige des Trigeminus, von Stilling bei Intermittens, von Bettmann u. a. nach Kontusion, von Decker bei Anwesenheit eines Stückes Zündhütchen im Glaskörper, von R. Berlin nach stumpfer Gewalt, von Manz, Landsberg u. a. bei Hysterie, von Wilbrand bei Neurasthenie, von Thomson bei Einwirkung elektrischen Lichtes, von Heidenhain und von Grützner bei Beginn der Hypnose. Berthold sah Akkommodationskrampf endemisch gleichzeitig mit Conjunctivitis unter Seminaristen auftreten. Dobrowolsky beschreibt bei einem 62Jährigen einen Fall von Akkommodationskrampf im Betrage von ca. 2,5 Dioptrien, der durch Eserin zum Verschwinden gebracht wurde. Auch in einem von Stilling beobachteten Falle soll bei einer 67Jährigen durch Akkommodationskrampf noch eine Akkommodationsbreite von ca. 2,5 Dioptrien möglich gewesen sein. (Es kann sich hierbei wohl nur um die oben erörterte scheinbare Akkommodation infolge starker Pupillenverengerung handeln. Denn wollte man die Erscheinungen als wirkliche Akkommodation infolge von Linsenveränderung auffassen, so müsste man etwa annehmen, dass der Ciliarmuskelkrampf ein Weicherwerden der Linse zur Folge gehabt hätte, so dass diese wieder die Konsistenz bekommen hätte, wie die normale Linse eines ca. 53Jährigen.)

Als »schmerzhafte Akkommodation« (Donders) oder als »Hyperästhesie des Ciliarmuskels« (Nagel) wird eine Störung bezeichnet, die wesentlich durch das Auftreten heftiger Schmerzen im Auge bei jeder Akkommodationsanstrengung charakterisiert ist. In schwereren Fällen soll schon der Versuch, einige Minuten zu lesen, sie hervorrufen; bei weiterer Anstrengung können Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen hinzutreten. Die Erkrankung soll bei Hypermetropischen, aber auch bei leicht kurzsichtigen Kranken vorkommen. Donders erwähnt 3 derartige Fälle, Nagel scheint sie häufiger gesehen zu haben. Eine genaue Beschreibung eines solchen giebt Dobrowolsky (1868). In allen Fällen soll Atropin die Krankheit nach kürzerer oder längerer Zeit vollständig zur Heilung gebracht haben. Eserineinträufelung kann ähnliche Erscheinungen hervorrufen.

§ 116. Von großem Interesse ist auch der durch Arzneimittel hervorgerufene Akkommodationskrampf. Der wichtigste Repräsen-

tant der hierher gehörigen Gruppe von Droguen ist das Eserin (Physostigmin). Träufelt man sich einen Tropfen einer 1 %igen Eserinlösung ins Auge, so treten nach wenigen Minuten folgende Veränderungen auf: Das Sehen in die Ferne ist zwar noch unbehindert, aber bei dem geringsten Akkommodations- oder Convergenzimpulse erfolgt maximale Ciliarmuskelkontraktion, Einstellung des Auges auf den Nahepunkt. Beim Versuche, das Auge wieder für die Ferne einzustellen, lässt die krampfhafte Kontraktion des Ciliarmuskels nur langsam, innerhalb 1—3 Sekunden nach, während das gesunde Auge nur einen kleinen Bruchteil einer Sekunde braucht, um aus der Naheinstellung in die Ferneinstellung überzugehen. Entsprechendes Verhalten beobachtet man oft auch am Orbicularis: Schon bei gewöhnlichem Lidschlusse tritt auf der eserinisierten Seite krampfhafte Zusammenziehung des Orbicularis auf, beim Versuche zu öffnen dauert es 1—2 Sekunden, bis dieser Krampf nachlässt. Etwas später als diese Erscheinungen tritt eine zunächst geringe Verengerung der Pupille auf, die nach etwa $^1/_2$ Stunde ihren Höhepunkt erreicht. Die maximale Kontraktion des Ciliarmuskels bei jedem Akkommodationsimpulse kommt in starkem Schlottern der Linse bei Bewegungen des Auges und in beträchtlichem Herabsinken derselben nach dem jeweils tiefsten Punkte des Ciliarkörperumfanges zum Ausdrucke. Das Linsenschlottern kann sich unter Umständen auch der Iris mitteilen: (Irisschlottern nach Calabar hat schon A. Weber beschrieben und durch die Annahme erklärt, »dass die Zonula durch den Ciliarmuskel weit mehr entspannt wird, als die Verschmälerung der Linse bei ihrem Zurückspringen in die angeborene Form bedarf und so dem lose aufgehängten Linsensystem geringe Schwankungen gestattet.«) In diesem Stadium liegt der wirkliche Fernpunkt an gleicher Stelle wie im nicht eserinisierten, der scheinbare kann wegen der engen Pupille in größerem Abstande vom Auge gefunden werden. Ebenso liegt der wirkliche Nahepunkt an gleicher Stelle, wie im nicht eserinisierten Auge bei starkem, willkürlichem Akkommodieren, der scheinbare ist aber dem Auge beträchtlich genähert. Die scheinbare (in der üblichen Weise gemessene) Akkommodationsbreite ist also beträchtlich vergrößert, die wirkliche dagegen unverändert. Wird etwas mehr Eserin in das Auge gebracht, so wird die Einstellung des Auges für die Ferne unmöglich; das Auge ist bei Fehlen aller Akkommodationsimpulse auf einen dem Nahepunkt mehr oder weniger angenäherten Punkt eingestellt, geringer Akkommodationsimpuls bedingt, wie vorher, maximale Ciliarmuskelkontraktion; die scheinbare Akkommodationsbreite ist kleiner als im normalen Auge. Durch noch größere Eserindosen endlich kann der Ciliarmuskel dauernd in maximale Kontraktion versetzt werden. Das Auge ist auf seinen wirklichen Nahepunkt eingestellt, der scheinbare ist dem Auge stark genähert; beim Versuche in die Ferne zu sehen, kann es nur einen wenig weiter von jenem entfernten Punkt noch deutlich sehen, die

Akkommodationsbreite erscheint sehr klein. Die Pupille ist in diesem Stadium äußerst eng, ihr Durchmesser beträgt in manchen Augen wenig mehr als 1 Millimeter.

Die große Mehrzahl der Forscher (DONDERS und HAMER, KRENCHEL, LANG und BARRETT u. a.) nimmt nach dem Vorgange von v. GRAEFE (1863) an, dass durch Eserin die wirkliche Akkommodationsbreite merklich erhöht werde. Dagegen hat v. ZEHENDER (1880) sich dahin geäußert, »dass die Einwirkung dieses Mittels auf die Akkommodation in Abrede genommen, oder mindestens im Hinblick auf einige die Reinheit des Versuches störende Momente als zweifelhaft und wiederholter Prüfung bedürftig bezeichnet werden müsse«. REDDINGIUS fand bei Messung mit einer von v. HELMHOLTZ angegebenen (von der Pupillenweite wesentlich unabhängigen) Methode keine Änderung der Nahepunktslage nach kleinen Eserinmengen, betont aber die Möglichkeit, dass er mit stärkeren Lösungen eine Annäherung gefunden hätte.

Über den Grad dieses Hereinrückens gehen die Litteraturangaben weit auseinander. Die Mehrzahl der Forscher findet eine Annäherung im Betrage von 1—3 Dioptrien. Dagegen verzeichnen LANG und BARRETT eine solche bis zu einem dioptrischen Werte von 13,89 D., ja, bis zu mehr als 18 D., selbst bei älteren Leuten. Ich selbst habe bei früheren Messungen an meinen Augen nach Eserineinträufelung eine Annäherung des scheinbaren Nahepunkts im Betrage von ca. 1,5 D. gefunden, diese aber ausdrücklich nur als scheinbare, lediglich durch Pupillenverengerung bedingte bezeichnet. Die Richtigkeit dieser Auffassung ergiebt sich aus folgenden Versuchen:

Nach Einträufeln von Eserin bestimmte ich wiederholt in kleinen Zwischenpausen meinen Nahepunkt teils mit den üblichen Methoden, teils mit solchen nach dem SCHEINER'schen Prinzip, bei welchem der Einfluss der Pupillenweite viel weniger ins Gewicht fällt. (STAMPFER'sches, PORTERFIELD-YOUNG'sches Optometer.) In dem Maße, als die Pupille enger wurde, rückte der mit Leseproben gemessene Nahepunkt an das Auge heran, so, dass bei engster Pupille die scheinbare Refraktionszunahme angenähert 1,5 D. betrug. Der nach dem SCHEINER'schen Prinzip gemessene Nahepunkt dagegen blieb die ganze Zeit merklich genau an der gleichen Stelle, wie vor der Eserinisierung. Dass etwa zu wenig Eserin eingeträufelt worden sei, ist u. a. schon dadurch ausgeschlossen, dass mein Ciliarmuskel sich längere Zeit in einem Zustande dauernder hochgradiger Kontraktion befand. Die Berechnung der Größe der Zerstreuungskreise bei normal weiter und bei durch Eserin verengter Pupille ergiebt, dass die an meinem Auge nach Eserineinträufelung gefundene scheinbare Refraktionserhöhung bei Messung mit Leseproben thatsächlich ohne die Annahme einer vermehrten Linsenwölbung zu erklären ist. Mit großer Wahrscheinlichkeit gilt dies auch für die Mehrzahl der in der Litteratur aufgeführten Messungen. Völlig unverständlich sind nur die von LANG und BARRETT angeführten Werte.

Eine einzige in der Litteratur mitgeteilte Beobachtung scheint mit den hier vertretenen Anschauungen nicht in Einklang zu stehen: v. GRAEFE untersuchte die Wirkung des Eserins bei einem Patienten mit traumatischer Aniridie, wo der störende Einfluss der Pupillenverschiedenheit wegfällt und »die großen Zerstreuungskreise, welche sich sofort bei Übertretung der Akkommodationsgrenze bilden, die Bestimmung sehr erleichtern«. v. GRAEFE fand auch hier ein, »allerdings wenig umfangreiches«, Hereinrücken des Nahepunktes von 5,5 auf 4,75 Zoll, was einer Refraktionszunahme um 1,1 Dioptrie entsprechen würde, die nicht durch Pupillenverengerung erklärt werden konnte. Zwei Umstände beeinträchtigen aber die Reinheit dieses Versuches: Erstens sind keine Angaben darüber gemacht, ob die Möglichkeit einer geringen Verengerung der Lidspalte ausgeschlossen war; gerade bei fehlender Iris konnte hierdurch das Beobachtungsergebnis wesentlich beeinflusst werden, um so eher, als bei vielen Leuten durch das Eserin der Orbicularis ohnehin leicht zu starken Kontraktionen gebracht wird. Zweitens hatte der fragliche Patient mit dem korrigierenden Cylinderglase, das bei der ganzen Untersuchung unabänderlich mit dem Auge in Verbindung blieb, vor der Einträufelung eine Sehschärfe über $^3/_4$, dagegen 20 Minuten nach derselben nur noch eine solche von $^2/_3$. Hierdurch aber werden die in gewöhnlicher Weise vorgenommenen Nahepunktsmessungen erschwert und sind mit den bei besserer Sehschärfe gewonnenen nicht mehr vergleichbar. Auch sei erwähnt, dass in diesem Fall keinerlei Änderung in der Lage der Ciliarfortsätze konstatiert werden konnte, während wir doch heute wissen, dass diese nach Eserineinträufelung in der Regel sogar recht beträchtlich nach vorn und hornhautwärts rücken.

HJORT giebt in einem ähnlichen Falle ein geringes Hereinrücken des Nahepunktes an, betont aber ausdrücklich, dass die Nahepunktsbestimmung »weniger sicher« war, weil Akkommodationsversuche viel Schmerz verursachten. Danach kann man in diesen beiden Angaben keinen Beweis für ein Hereinrücken des wirklichen Nahepunktes nach Eserineinträufelung in Augen ohne Iris erblicken.

Allgemein wird, auch von den Anhängern der HELMHOLTZ'schen Theorie, das nach Eserineinträufelung gefundene Hereinrücken des Nahepunktes auf gesteigerte Kontraktion des Ciliarmuskels bezogen, die eine vermehrte Linsenwölbung herbeiführe. Nach der HELMHOLTZ'schen Theorie wäre eine Zunahme der wirklichen Akkommodationsbreite nur zu verstehen unter Zugrundelegung der (bisher allgemein verbreiteten) Annahme, dass innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen jede infolge akkommodativer Ciliarmuskelkontraktion eintretende Entspannung der Zonula wieder durch vermehrte Linsenwölbung ausgeglichen würde, dass also die Zonula unter allen Umständen sich in einem gewissen Spannungsgrade befände, und dass die Nahepunktseinstellung stets maximaler Kontraktion des Ciliarmuskels entspräche. Diese Auffassung ist aber nicht mehr haltbar. Auch im jugendlichen Alter ist nur ein Bruchteil der möglichen Ciliarmuskelkontraktion nötig, um das Auge auf den Nahepunkt einzustellen; wird der Ciliarmuskel noch stärker kontrahiert, so erschlafft die Zonula, die Linse sinkt herunter, aber eine weitere Wölbungszunahme ist nicht möglich. Geringe Veränderungen in der Lage des wirklichen Nahepunktes könnten durch folgende

Umstände bedingt werden: Wenn bei maximaler Ciliarmuskelkontraktion die Linse der Schwere folgend nach unten sinkt, so kommen andere Teile der Linsenvorderfläche in das Pupillargebiet zu liegen, als vorher. Wenn diese eine stärkere Wölbung haben als die letzteren, so würde der wirkliche Nahepunkt etwas an das Auge heranrücken können. Dann wäre aber zu erwarten, dass bei Untersuchung vieler Fälle auch einmal ein Hinausrücken des Nahepunktes sich fände; denn es ist nicht wahrscheinlich, dass in allen Augen die Stelle stärkster Linsenwölbung ca. $1/2$ mm nach oben von der miotischen Pupille liegt. Auch die kleine, bei ganz erschlaffter Zonula eintretende Verschiebung der Linse nach vorn oder hinten bei Senken oder Heben des Kopfes könnte eine kleine, hier aber kaum in Betracht kommende Refraktionsänderung ohne Wölbungsänderung bedingen. Keinenfalls aber lassen sich die gefundenen Verschiedenheiten der Nahepunktslage aus vermehrter Linsenwölbung infolge stärkerer Ciliarmuskelkontraktion erklären.)

Somit ist die bisherige Annahme nicht mehr haltbar, dass Eserin durch Steigerung der Ciliarmuskelkontraktion eine stärkere Linsenwölbung herbeiführe, als bei willkürlichem Akkommodieren möglich ist. Mit einwandfreien Methoden konnte ich an meinen Augen trotz beträchtlichen Hereinrückens des scheinbaren Nahepunktes keine Änderung in der Lage des wirklichen Nahepunktes nachweisen. Dies steht mit unserer heutigen Auffassung vom Akkommodationsmechanismus in Einklang.

Ein Einfluss des Eserins auf die Hornhautwölbung wurde von v. Reuss (1877) angegeben; Stocker hat (1887) diese Angabe bestätigt: er fand nach Eserineinträufelung eine Verkürzung des Hornhautradius um 0,1 bis 0,2 mm.

§ 117. Vielfach nimmt man an, dass das Eserin direkt auf die Muskelfasern des Sphincter pupillae wirke; dieser Auffassung tritt Schultz mit folgendem Versuche entgegen: Exstirpierte er bei einer Katze das Ganglion cervicale und das Ganglion ciliare, so hatte nach einigen Tagen Einträufelung von Physostigmin keine Verengerung der Pupille mehr zur Folge, obschon die Erregbarkeit des Muskels selbst intakt war, wie die direkte elektrische Reizung zeigte. Unmittelbar nach der Exstirpation des Ganglion ciliare hat das Eserin noch deutlich pupillenverengernde Wirkung, die aber in der folgenden Zeit von Tag zu Tag geringer wird. Dem entspricht ferner die Thatsache, dass nach völliger Ausschaltung der Okulomotoriusfasern durch Atropin, Eserin keine Pupillenverengerung mehr hervorzurufen imstande ist, worauf früher schon Kobert hingewiesen hat. Werden aber durch Einträufeln von Atropin in verdünnter Lösung oder durch Homatropin oder Cocain die Oculomotoriusenden nur geschwächt, nicht aber vollständig gelähmt, so kann Eserin vorübergehend noch maximale Wirkung auf Sphinkter und Ciliarmuskel entfalten: es tritt 10—15 Minuten nach der Einträufelung

hochgradige Kontraktion beider Muskeln ein, und zwar geht stets die Wirkung auf den Ciliarmuskel jener auf den Sphinkter voraus, so dass man bei noch weiter Pupille die völlige Entspannung der Zonula, das Linsenschlottern etc. gut beobachten kann. Diese Eserinwirkung geht aber nach einigen Stunden vorüber und die Atropinwirkung erhält wieder die Oberhand. Dem Eserin in jeder Hinsicht sehr ähnlich wirkt das Pilocarpin.

Von anderen pupillenverengenden Substanzen mögen folgende erwähnt werden: Muscarin, dessen Wirkung der des Eserin ähnlich, nur viel stärker ist, Nicotin, Coniin, Morphin, Aconitin, Hydrastinin, Monobromallylneurin, Tetramethylammoniumjodid, Trimethylaminaethylenchlorid. Alle diese Gifte rufen (Heine) am Vogelauge gleichzeitig auch mehr oder weniger starken Ciliarmuskelkrampf hervor. Die Gifte aus der Digitalisgruppe (Digitalin, Strophantin, Helleborin) bewirken zuerst Krampf, darauf (nach $^1/_2$—1 Stunde) Lähmung des Sphinkter und Ciliarmuskels.

Die Anwendung der Mehrzahl der hier erwähnten Gifte beim Menschen ist teils wegen der Schmerzhaftigkeit, teils wegen anderweitiger Reizerscheinungen für die Praxis nicht ratsam. Eserin dagegen hat in Koncentration von 1 %) nach meinen Erfahrungen keinerlei schädliche Nebenwirkungen; die Angabe, dass es Entzündungen am Auge hervorrufe, kann ich nicht bestätigen; ich habe sehr häufig an meinen Augen zu Versuchszwecken Eserin eingeträufelt, ohne nennenswerte Reizerscheinungen zu spüren. Dasselbe war bei mehreren Kollegen der Fall, welche die Versuche mit mir anstellten.

Litteratur.

1611. Kepler, Dioptrice etc. und Paralipomena ad Vitellionem.
1619. Scheiner, Oculus, hoc est: Fundamentum opticum etc. Oeniponti.
1637. Cartesius, Dioptrice. Lugdun. Batav. (Amsterdam 1856.)
1648. Plempius, Ophthalmographia. III. Lovanii.
1685. Bidloo, Anatomia humani corporis. Amstelaedami.
1719. Pemberton, Dissertatio de facultate oculi qua ad diversas distantias se accommodat. Lugd. Bat.
1722. Eustachius, B., Tabulae anatomicae etc. Amstelaedami.
1738. Platner, De motu ligamenti ciliaris in oculo. Leipzig.
1759. Porterfield, On the eye. I. Edinburgh.
1771. Le Roy, Mémoire sur le mécanisme, par lequel l'oeil s'accommode aux différentes distances des objets. Paris.
1801. Young, Th., On the mechanism of the eye. Philos. Transact. I. S. 23.
1819. Purkinje, Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht. Prag.
1823. Purkinje, De examine physiologico organi visus et systematis cutanei. Breslau.
1826. Hueck, Dissertatio de mutationibus oculi internis. Dorpat.
1828. Treviranus, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge des Menschen und der Tiere.
1836. Kohlrausch, Über Treviranus' Ansichten vom deutlichen Sehen in die Nähe und Ferne. Rinteln.

1837. Sanson, Leçons sur les maladies des yeux, publiées par Badinot et Pigne. Paris.

1841. Hueck, Die Bewegungen der Krystalllinse. Leipzig.

1845. Sturm, Sur la théorie de la vision. Compt. Rend. XX. S. 554, 761, 1238. Pogg. Ann. LXV. S. 116.

1846. Brücke, E., Über den Musculus Cramptonianus und den Spannmuskel der Chorioidea. Müller's Arch. S. 370.

1849. Donders, Nederl. Lancet. S. 146.

Langenbeck, Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Chirurgie und Ophthalmologie. Göttingen.

1850. Donders, Reflectieproef van Purkinje en Sanson en accommodatie van het oog, naar M. Langenbeck. Nederl. Lancet. S. 132.

Weber, C., Nonnullae disquisitiones, quae ad facultatem oculum rebus longinquis et propinquis accommodandi spectant. Marburg.

1851. Cramer, Tydschrift der Maatschappy vor Geneeskunde. XI. S. 115. Nederl. Lancet. Ser. 2. I. S. 529.

Donders, Ophthalmologische aanteekeningen. Accommodatievermogen. Nederl. Lancet. S. 600.

1853. v. Helmholtz, Über eine bisher unbekannte Veränderung am menschlichen Auge bei veränderter Akkommodation. Monatsber. d. Akademie zu Berlin. 3. Febr. S. 137.

Cramer, Het accommodatievermogen der Oogen, physiologisch toegelicht. Haarlem. (Deutsch von Doden. 1855. Leer.)

1854. Hasenpat, De accommodandi facultate. Berlin.

1855. Ruete, Commentatio de irideremia congenita eiusque vi in facultatem accommodationis oculorum. Leipzig.

Helmholtz, Über die Akkommodation des Auges. Arch. f. Ophth. I, 2. S. 1.

1857. Müller, H., Über einen ringförmigen Muskel am Ciliarkörper. Arch. f. Ophth. III, 1 u. IV, 2.

1858. Mannhardt, Bemerkungen über den Akkommodationsmuskel und über die Akkommodation. Arch. f. Ophth. IV, 1. S. 269.

1860. Czermak, Über das Akkommodationsphosphen. Arch. f. Ophth. VII, 1. S. 147.

1861. v. Graefe, Fall von acquirierter Aniridie als Beitrag zur Akkommodationslehre. Arch. f. Ophth. VII, 2. S. 150.

1863. Becker, Über die Lage und Funktion der Ciliarfortsätze im lebenden Menschenauge. Wiener med. Jahrbücher. S. 159.

1865. Aubert, Physiologie der Netzhaut.

Donders, Pupilbeweging bij accommodatie. Nederl. Arch. v. Geneesk. II.

1866. Trautvetter, Über den Nerv der Akkommodation. Arch. f. Ophth. XII. 1. S. 95.

Völckers und Hensen, Studien über die Akkommodation. Centralbl. f. d. med. Wissensch.

1868. Coccius, Der Mechanismus der Akkommodation. Leipzig, Teubner.

Völckers und Hensen, Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Akkommodation. Kiel.

1869. Wende, Beiträge zur Geschichte und Anatomie des Ciliarmuskels. Inaug.-Diss. Berlin.

1870. Adamück, E., Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie. Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 11. S. 165. Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. V. S. 153.

Adamück, E., Zur Frage über den Mechanismus der Akkommodation. Centralbl. f. d. med. Wissensch. S. 292.

Adamück, E., Bijdrage tot de physiologie van den N. oculomotorius. Ond. i. h. physiol. Lab. te Utrecht. II, 3. S. 398. Centralbl. f. d. med. Wissensch. S. 65.

Adamück, E. und Woinow, M., Zur Frage über die Akkommodation der Presbyopen. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 144.

1870. Heiberg, H., Die Peripherie der Descemet'schen Haut und ihr Einfluss auf die Akkommodation. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 80.

Langenbeck, M., Zur Lehre von der Akkommodation. Memorabilien. S. 197.

Macdonald, J. O., On the minute anatomy of some parts concerned in the functions of accommodation to distance, with physiologic notes. The quarterl. Journ. of med. sc. July. S. 230.

Mannhardt, J., Bemerkungen über den Akkommodationsmuskel und die Akkommodation. Arch. f. Ophth. S. 269.

Schirmer, R., Beitrag zur Lehre von der Akkommodation. Berliner klin. Wochenschr. S. 232.

1871. Adamück, E., Bijdrage tot het mechanisme der accommodatie. Onderz. in het physiol. Lab. te Utrecht. II, 3. S. 403.

Adamück, E., und Woinow, M., Über die Pupillenveränderungen bei der Akkommodation. Arch. f. Ophth. XVII, 1. S. 158.

Galezowski, X., Quelques aperçus sur l'accommodation de l'oeil. Gaz. Hebd. No. 20.

1872. Argyll Robertson, Comptes Rendus du congrès d'ophtalmologie de Londres. S. 106.

Le Roux, F. P., Sur la multiplicité des images oculaires et la théorie de l'accommodation. Compt. Rendus. LXXV. S. 1268—1271.

Schöler und Mandelstamm, Arch. f. Ophth. XVIII. S. 155.

1873. Hensen, V., und Völckers, C., Über die Akkommodationsbewegung der Chorioidea im Auge des Menschen, des Affen und der Katze. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 156.

Norton, A., On the accommodation of vision and the anatomy of the ciliary body. Proc. of the Roy. Soc. of London. XXI. S. 423—425.

Norton, A., The mechanisme of the accommodation of the eye. Brit. med. Journ. 6. Dez.

1874. Duwez, Du mécanisme de l'accommodation. Ann. d'Ocul. LXXI. S. 136.

Krenchel, W., Über die Wirkung des Muscarins auf Akkommodation und Pupille. Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 127.

Berlin, E., Über das Akkommodationsphosphen. Arch. f. Ophth. XX, 1. S. 89.

1875. Dufour, Rupture du ligament suspenseur du cristallin et mécanisme de l'accommodation. Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.

Guérin, J., La doctrine de l'accommodation. Gaz. des Hôp. S. 1150.

Reuling, G., Angeborener Mangel der Iris auf beiden Augen mit vollständiger Akkommodationsfähigkeit. Amer. Journ. of Nat. Sc. CXXXVII. S. 143.

Warlomont und Nuël, De la fonction du muscle ciliaire. Ann. d'Ocul. LXXIV. Mai u. Juni.

1876. Weber, A., Über Calabar und seine therapeutische Verwendung. Arch. f. Ophth. XXII, 4. S. 221.

Bäuerlein, Zur Akkommodation des menschlichen Auges. Würzburg.

Drouin, A., Note pour démontrer qu'il n'y a pas de rapport direct entre l'état de l'accommodation de l'oeil et le diamètre de la pupille. Gaz. Méd. de Paris. No. 28.

Hjort, Die Ciliarfortsätze während der Akkommodation. Ein Fall von totaler acquirierter Irideremie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIV. S. 205.

Poulain, L. V., Etude sur l'accommodation de l'oeil. Paris, Masson.

1877. Landolt, E., Sur l'accommodation. Progr. Méd. No. 6.

Laskiewicz-Friedenfeld, Angeborener Irismangel, verbunden mit Trübung der brechenden Medien. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XV. S. 319.

Mohl, Arch. f. Ophth. XXIII, 2. S. 171.

1878. Adamück, E., Einige Bemerkungen in Beziehung der Arbeit von Hensen und Völckers: »Über den Ursprung der Akkommodationsnerven«. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. II. S. 229—233.
Domec, Die Akkommodationstheorie Rosset's. Amer. Journ. Oktober.
Hensen, V., und Völckers, C., Über den Ursprung der Akkommodationsnerven. Arch. f. Ophth. XXIV. S. 1—28.
Hock, J., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der meridionalen (Längs-) Fasern des Ciliarmuskels. Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 43.
Rosset, Der Akkommodationsmuskel und seine Wirkungsweise. Amer. Journ. No. 5. CLII. S. 349. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 115.
1879. Bouchard, Über Akkommodation des Auges. Rec. de Mém. de Méd. Milit. XXXIV.
Coulon, Etude sur le mécanisme de l'accommodation. Thèse de Paris.
Domec, Der Akkommodationsmuskel und seine Wirkungsweise. Rec. d'Opht.
Hunt, D., A criticism of Dr. de Rosset's theory of the action of the muscle of accommodation. New-York med. Journ. No. 1.
Vilmain, G., Essai sur la physiologie de l'accommodation. Thèse de Paris. 80 S.
1880. Angelucci, A., Sulla durata degli atti accommodativi della lente comparati coi tempi impiegati dell' accommodazione subiettiva e dai movimenti dell' iride. Arch. di Ottalm. IX. S. 304—320.
Angelucci und Aubert, Beobachtungen über die zur Akkommodation des Auges und die zur akkommodativen Krümmungsveränderung der vorderen Linsenfläche erforderlichen Zeiten. Pflüger's Arch. XXII. S. 69—86.
Schmidt-Rimpler, H., Die Akkommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth. XXVI, 1. S. 103—114. Sitzungsber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturw. zu Marburg. No. 6. Aug. 1879.
Nagel, Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Handb. v. Graefe-Saemisch.
1881. Emmert, E., Der Mechanismus der Akkommodation des menschlichen Auges. Arch. f. Augenheilk. X. S. 342—365 u. 407—429.
1882. Ayres, C., The physiology of accommodation. New York med. Journ. XXXV. S. 483.
Javal, E., Théorie de l'accommodation. Soc. de Biol. 6. Mai. Gaz. des Hôp. S. 431.
1883. Cohn, H., Ein Modell des Akkommodationsmechanismus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April.
Dessauer, Zur Zonulafrage. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXI. S. 89—99.
Javal, E., Déformation cristallinienne et cornéenne dans l'accommodation. Soc. de Biol. No. 2.
Kazaurow, Über den Einfluss der Akkommodation des Auges auf Veränderung der Grenzen des Gesichtsfeldes. Wratsch. No. 2.
1885. Deeren, Etude sur le mécanisme de l'accommodation. Rec. d'Opht. S. 611.
Imbert, Sur le choix des verres de lunette et sur la variation du pouvoir accommodatif avec l'âge. Gaz. Hebd. des Sc. méd. de Montpellier. VII. S. 197.
Schön, Zur Ätiologie des Glaucoms. Arch. f. Ophth. XXXI, 4. S. 1.
Weidlich, Akkommodation und Pupillenspiel. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 164.
1886. Furney, E. E., A theory of the mechanism of accommodation. Amer. Journ. of Ophth. III. S. 9.
Giraud-Teulon, Rapport sur un mémoire du docteur Zimmermann, relatif à une nouvelle théorie de l'accommodation de l'oeil aux distances. Bull. Acad. de Méd. XV. S. 440.

1886. Randall, The mechanism of accommodation and a model for its demonstration. Amer. Journ. of Ophth. III. S. 91.
Schneller, Akkommodation durch Achsenverlängerung des Auges. Tagebl. d. 59. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte in Berlin. S. 390.
Schön, W., Vorrichtung zur Veranschaulichung der Akkommodation. Tagebl. d. 59. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte in Berlin. S. 415.
Zimmermann, Nouveaux éléments à la théorie musculaire de l'accommodation. Loir. Méd. V. S. 60.
1887. Sattler, Anatomische und physiologische Beiträge zur Akkommodation. Bericht über die 19. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg.
Schön, a) Akkommodationsmodell. b) Über die Veränderung des Auges infolge der Akkommodation bei fortschreitendem Lebensalter. Ber. d. 19. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 162.
1888. Aubert, A., Über die Schön'sche Theorie des Mechanismus der Akkommodation. Rostocker Ztg. No. 281.
Coccius, Die vollständige Wirkung des Tensor chorioideae. Ber. über d. 7. period. internat. Congr. in Heidelberg.
Jessop, W. H., The pupil and accommodation. Ophth. Rev. S. 161—225.
Kerschbaumer, R., Über Altersveränderungen der Uvea. Arch. f. Ophth. XXXIV, 4. S. 16.
Ramos, Consideraciones de dióptrica fisiológica sobre el punto proximo, el punto remoto y la amplitud de la acomodacion; aplicaciones prácticas del método de Donders, para la determinacion de estos valores. Rev. méd. de México. I. S. 44.
1889. Hoquart, Physiologie, anatomie et pathologie de l'appareil accommodateur. Arch. d'Opht. IX. S. 358.
1890. Harlan, G. C., A case of traumatic dislocation of the lens illustrating the theory of visual accommodation. Med. News. Philadelphia. VI. S. 354.
Magnus, Experimentelle Studien über die Ernährung der Krystalllinse und über Kataraktbildung. Arch. f. Ophth. XXXVI, 4. S. 150.
Morat, J. P., und Doyon, M., Le grand sympathique nerf de l'accommodation pour la vision des objets éloignés. Compt. Rend. CXII. S. 1327—1329.
1891. Magnus, Über Blasenbildungen am Linsenäquator. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 291.
Morat, J. P., und Doyon, M., Du rôle du nerf sympathique cervical dans l'accommodation pour la vision des objets éloignés. Acad. des Sc. séance du 1. Jan. u. France méd. No. 25. S. 393.
1892. Beer, Studien über die Akkommodation des Vogelauges. Arch. f. d. ges. Physiol. LIII. S. 175—237.
Nicolai, C., Over het mechanisme der accommodatie. Erste Vergadering van het Nederlandsch Oogheelkundig Gezelschap Rotterdam. Weekblad. No. 26. S. 911.
Rochon-Duvignaud, Recherches sur l'angle de la chambre antérieure et le canal de Schlemm. Paris.
Seashore, C. E., On monocular accommodation-time. Studies from the Yale psychol. Labor. S. 56.
Topolanski, Linsenranderhebungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 89.
Tscherning, M., Note sur un changement jusqu'à présent inconnu, que subit le cristallin pendant l'accommodation. Arch. de Physiol. norm. et path. Série 5. IV. S. 158—164 u. Arch. d'Opht. XII. S. 168—174.
1893. Michel, A., Beitrag zur Frage der Akkommodation. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXI. S. 223—251 u. 267—296.
Schön, Die Funktionskrankheiten des Auges. Wiesbaden, Bergmann. 1893 u. 1895.
Schön, Der Akkommodationsmechanismus. Arch. f. d. ges. Physiol. LIX.

1893. Tscherning, Les sept images de l'oeil humain. Journ. de physique. Série 3. II. Mars.
Tscherning, Le mécanisme de l'accommodation. Extrait des Ann. de la Policl. de Paris.
Wintersteiner, Kasuistische Beiträge: Ein Fall von traumatischer Aniridie. Wiener klin. Wochenschr. No. 3.
1894. Beer, Die Akkommodation des Fischauges. Arch. f. d. ges. Physiol. LVIII S. 523—650.
Bjerrum, J., Accommodationsmechanismen. Med. Aarsskrift. Kopenhagen.
Lange, O., Zur Lehre von der Akkommodationswirkung auf das Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXII. S. 94—96.
Monoyer, Absence totale de relation entre les mouvements apparents des images catoptriques du cristallin et les changements de l'accommodation. Provence méd. Lyon. VIII. S. 325 u. 337.
Nicolai, C., Über den Mechanismus der Akkommodation. Diss. Nymwegen u. Heidelberg. 29 S.
Tscherning, Etude sur le mécanisme de l'accommodation. Arch. de Physiol. S. 40.
Tscherning, L'optomètre de Young et son emploi. Arch. de Physiol. Oktober.
Tscherning, Oeuvres ophtalmologiques de Th. Young. Kopenhagen.
Tscherning, La déformation de la cristalloïde antérieure pendant l'accommodation. Compt. Rend. de la Soc. Franç. d'Opht.
1895. Schoen, W., Der Akkommodationsmechanismus. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. LIX. S. 427.
Schoen, Zonula und Ora serrata. Anat. Anzeiger. X. No. 1.
Schoen, W., Die Funktionskrankheiten der Ora serrata und des Ciliarteiles der Netzhaut. Arch. f. Augenheilk. XXX. S. 128.
Tscherning, Théorie des changements optiques de l'oeil pendant l'accommodation. Arch. de Physiol. Janv.
Tscherning, Recherches sur les changements optiques de l'oeil pendant l'accommodation. Arch. de Physiol. Janv. S. 158.
Weiss, G., La puissance de l'oeil et l'amplitude d'accommodation. Ann. d'Ocul.
1896. Crzellitzer, A., Zonularspannung und Linsenform. Bericht d. Heidelberger Ges.
Crzellitzer, Die Tscherning'sche Akkommodationstheorie. Arch. f. Ophth. XLII, 4.
Hess, C., Über einige bisher nicht gekannte Ortsänderungen der menschlichen Linse während der Akkommodation. Bericht über d. 27. Vers. d. ophth. Ges. Heidelberg. S. 41.
Schön, W., Le glaucome, ses formes différentes et son traitement. Ann. d'Ocul. CXVI. S. 161.
Stadfeldt, E., Die Veränderung der Linse bei Traktion der Zonula. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 429.
1897. Beard, Is there extracrystalline accommodation? Amer. Journ. of Opth. S. 33.
Fukala, Was ist die Aufgabe des Brücke'schen Muskels? Arch. f. Augenheilk. XXXVI. S. 65.
Heine, Die akkommodativen Linsenverschiebungen im Auge, subjektiv und objektiv gemessen. Arch. f. Ophth. XLIV, 3. S. 299.
Heine, Mikroskopische Fixierung des Akkommodationsaktes. Bericht d. ophth. Ges. Heidelberg. S. 23.
Hess, Theoretische Bemerkungen über Glaucom. Bericht d. ophth. Ges. Heidelberg.

1897. Hess, Ortsveränderungen der menschlichen Linse während der Akkommodation und ihre Messung, nebst Beiträgen zur Theorie der Akkommodation. Arch. f. Ophth. XLIII, 3. S. 423.

Lohnstein, Bemerkungen über den Aufsatz Walters: Über Akkommodation bei Aphakie. Arch. f. Augenheilk. XXXV. S. 260.

Priestley Smith, Demonstration of Tscherning's Theory of Accommodation. Opht. Rev. S. 222.

Snellen, Niederländische Ges. f. Ophth. Utrecht. 12. Dez.

Treutler, Über Euphthalmin, ein neues Mydriaticum, nebst theoretischen Bemerkungen über die Wirkung akkommodationslähmender Mittel. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Sept.

White, So called accommodation in a lenseless eye with report of a case. Transact. Amer. Ophth. Soc. 33. Meet. S. 241.

1899. Alessandro, Modificazioni del tessuto dell' angolo irideo nell' accommodazione. Arch. di Ottalm. VI, 8. S. 253.

Heine, Die Anatomie des akkomm. Auges. Arch. f. Ophth. XLIX, 1. S. 1.

1841. Chevalier, Manuel des Myopes et Presbytes.

1855. Stellwag, Die Akkommodationsfehler des Auges. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien. XVI. S. 187.

1858. Donders, Winke, betr. Gebrauch und Wahl der Brillen. Arch. f. Ophth. IV, 1. S. 103.

1871. Carter, Observations on the hygiene of vision. Practitioner. VI.

1875. Monoyer, Nouvelle formule destinée à calculer la force réfringente ou le numéro des lunettes de presbyte. Acad. des Sc. Compt. Rend. LXXX. S. 919.

1876. Claparède, Tableaux synoptiques de la presbyopie à tous les âges. Paris. Delahaye.

Schöler, Beseitigung von Presbyopie bei Gesichtsschmerz durch Nervenresektion. Klin. Ber. für 1875.

Dörinkel, Über die Abnahme der Akkommodationsbreite in verschiedenen Stadien der Presbyopie. Inaug.-Diss. Marburg.

1877. Burnett, So called second sight of old people. Amer. Journ. of med. Sc. LXXIII. S. 446.

1890. Arminski, Fernpunkt und Beschäftigung. Wiener med. Bl. XIII. S. 631.

Cienfuego, Über die senilen Veränderungen des menschlichen Auges. Berlin.

Martialis, M., Accommodation et presbytie. Arch. de Méd. Nav. XI. S. 223.

1894. Savage, Can presbyopia be deferred by rhythmic exercise of the ciliary muscles? Ophth. Rec. Nashville. III. S. 439.

Sous, G., Age et accommodation; courbe et formule. Journ. de Méd. de Bordeaux. XXII. S. 49.

1895. Katz, Zur Frage über die Arbeitsbrillen. Note sur la question des verres de travail. Arch. d'Opht. XX. S. 641.

Landolt, Du verre correcteur de la presbyopie. Arch. d'Opht. XV. S. 273.

Seabrock, Accommodation in old people. Amer. Journ. of Ophth. S. 208.

1898. Santos Fernandez, Frühzeitige Presbyopie auf Cuba. Cronica medicoquirurg. de la Havane. No. 7.

Santos Fernandez, Die senile Hypermetropie. Cronica medico-quirurg. de la Havane. Dez.

Monoyer, Mesure et correction de la presbytie; extension des formules des lunettes à toutes les anomalies de la refraction. Arch. d'Opht. XVIII. S. 97, 167 u. 275.

1899. Kouwenhoven, Seniele oververziendheid. Amsterdam.

Intraocularer Druck bei der Akkommodation.

1864. Förster, Zur Kenntnis des Akkommodationsmechanismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. II. S. 74.

1866. Adamück, Manometrische Bestimmungen des intraocularen Druckes. Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 36.

Grünhagen, Über intraocularen Druck. Sitzungsber. d. Ver. f. wissensch. Heilk. Königsberg, März u. Berliner klin. Wochenschr. No. 24.

Grünhagen, Untersuchungen, den intraocularen Druck betr. Zeitschr. f. rat. Med. XXVIII. S. 238.

Völckers und Hensen, Studien über Akkommodation. (Vorl. Mitt.) Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 46.

1868. Coccius, Der Mechanismus der Akkommodation des menschlichen Auges. Leipzig.

v. Hippel und Grünhagen, Über den Einfluss der Nerven auf die Höhe des intraocularen Druckes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XIV, 3. S. 219; XV, 1. S. 265; XVI, 1. S. 27. 1868—1870.

Monnik, Tonometers en Tonometrie. Acad. proefschr. Utrecht.

Stellwag v. Carion, Der intraoculare Druck und die Innervationsverhältnisse der Iris. Wien.

Völckers und Hensen, Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Akkommodation. Kiel.

1869. Adamück, Neue Versuche über den Einfluss des Sympathicus und Trigeminus auf Druck und Filtration im Auge. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Math.-naturwissensch. Kl. LIX, 2. Febr.

1870. Adamück, De l'action de l'atropine sur la pression intraoculaire. Ann. d'Ocul. LXIII. S. 108.

1872. Pflüger, E., Beiträge zur Ophthalmotonometrie. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. II, 2. S. 1.

1873. Nagel, Über vasomotorische und sekretorische Neurosen des Auges. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XI. S. 400.

1876. Leber, Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe u. Saemisch. II. S. 368.

1877. Weber, A., Die Ursache des Glaucoms. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIII. S. 23.

1879. Priestley Smith, Glaucoma. London.

1880. Nagel, Handb. d. ges. Augenheilk. v. Graefe u. Saemisch. VI. S. 472.

1882. Schultèn, Experimentela och kliniska undersökningar beträffande Hjärnskador och deras inflytante på ögats circulationsförhallanden. Academisk Afhandling. Helsingfors.

1883. Höltzke, H., Experimentelle Untersuchungen über den Druck in der Augenkammer. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIX, 2. S. 1.

1884. v. Schultèn, M. W., Experimentelle Untersuchungen über die Circulationsverhältnisse des Auges und über den Zusammenhang zwischen den Circulationsverhältnissen des Auges und des Gehirns. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX, 3. S. 1, 4 u. 61.

1885. Pflüger, Über die Einwirkung der Mydriatica und Myotica auf den intraocularen Druck unter physiologischen Verhältnissen. Bericht über d. 17. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg.

1886. Belljarminow, L., Anwendung der graphischen Methode zur Untersuchung des intraocularen Druckes. Primenenje graphitscheskawo Methoda k izsledowaniü wnutriglasnawo dawlenja. Russkaja Med. No. 21—23.

Belljarminow, L., Versuch einer Anwendung der graphischen Methode zur Untersuchung der Pupillenbewegung und des intraocularen Druckes mit Hilfe der Photographie.

Schlegel, Manometrische Untersuchungen über die Beeinflussung des intraocularen Druckes durch Pilocarpin. Arch. f. experim. Path. u. Pharmak. II. S. 271.

1887. Boedeker, Justus, Vergleichende Druckmessungen in vorderer Kammer und Glaskörper des Auges. Inaug.-Diss. Berlin.

Stocker, Fr., Über den Einfluss der Mydriatica und Myotica auf den intraocularen Druck unter physiologischen Verhältnissen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIII, 1. S. 104.

Sattler, Anatomische und physiologische Beiträge zur Akkommodation. Bericht über d. 19. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 3. (Demonstration von Präparaten. S. 179.)

Schön, W., Die Akkommodations-Überanstrengung und deren Folgen. Ätiologie des Glaucoms und der Alterskatarakt. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIII, 1. S. 195.

Schön, W., Der Akkommodationsmechanismus und ein neues Modell zu Demonstration desselben. Arch. f. Physiol. u. Anat. (Physiol. Abt. S. 224.

1888. Coccius, Über die vollständige Wirkung des Tensor chorioideae. Bericht über d. 7. internat. Ophth.-Kongr. in Heidelberg.

Fick, A., Über Messung des Druckes im Auge. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLII. S. 86.

Wahlfors, K., Über Druck und Druckmessungen im menschlichen Auge. Bericht über d. 7. internat. Ophth.-Kongr. in Heidelberg. S. 268.

1890. Fick und Gürber, Über Erholung der Netzhaut. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 2. S. 245.

1891. Doyon, M., Rôle du grand sympathique dans l'accommodation. Paris, Masson.

Morat et Doyon, Le grand sympathique nerf de l'accommodation pour la vision des objets éloignés. Compt. Rend. de l'Acad. des Sc. S. 1327 u. Arch. de Physiol. III. S. 507.

1892. Langley and Anderson, On the mechanism of the movement of the iris. Journ. of Physiol. XIII, 6. S. 554.

Rindfleisch, G., Experimentelle Untersuchungen über die bei der eitrigen Chorioiditis auftretende Herabsetzung des intraocularen Druckes. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 2. S. 221.

1895. Koster, Beiträge zur Tonometrie und Manometrie des Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 1. S. 113.

Koster, Beiträge zur Lehre vom Glaucom. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 2. S. 30.

1896. Hess, C., Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodationslehre. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLII, 1. S. 288 u. XLIII, 3. S. 477. 1897.

Hess, C., Bemerkungen zur Akkommodationslehre. Arch. f. Ophth. XLVI. S. 243.

1897. Hess, C., Theoretische Bemerkungen über die Akkommodation bei Glaucom. Sitzungsber. d. ophth. Ges. in Heidelberg.

1898. Grunert, Der Dilatator pupillae des Menschen. Habilitationsschr. Wiesbaden u. Arch. f. Augenheilk. XXXVI, 4. S. 319.

Heine, L., Physiologisch-anatomische Untersuchungen über die Akkommodation des Vogelauges. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLV, 3. S. 469.

Hess und Heine, Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss der Akkommodation auf den intraocularen Druck. Arch. f. Ophth. XLVI, 2. S. 243.

Tscherning, Optique physiologique. Paris.

Beer, Die Akkommodation des Auges in der Tierreihe. Wiener klin. Wochenschr. No. 42.

Priestley Smith, Accommodation theories of Helmholtz and Tscherning. Suggested explanation of their discrepancy. Ophth. Rev. S. 341.

Priestley Smith, On accommodation in the rabbit. Ophth. Rev. S. 287.

1898. Reddingius, Der Akkommodationsfleck. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XVI. S. 188.
Koster, De stryd over het mechanisme der accommodatie. Nederl. Tydschr. van Geneesk. I. No. 3.
Koster, Bemerkungen zu den Versuchen von Hess über die Akkommodation. Arch. f. Ophth. XLVII, 1. S. 242.
Koster, Bemerkungen zu dem Aufsatz von Hess: »Entoptische Beobachtung der Linsenverschiebungen bei der Akkommodation«. Arch. f. Ophth. XLVI, 1. S. 97.
1899. Heine, Die Anatomie des akkommodierten Auges. v. Graefe's Arch. f. Ophth XLIX, 1. S. 1.
Tscherning, Theory of accommodation. Ophth. Rev. S. 91.
Hess, Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodationslehre. V. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIX, 2. S. 241.
Hess, Bemerkungen zur Akkommodationslehre. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juli.
Hess, Zusammenhang zwischen Akkommodation und Convergenz. Bericht über d. Verhandl. d. 9. internat. Ophth.-Kongr. in Utrecht. Beilageheft z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 42.
Heine, Linsenschlottern und Linsenzittern. Arch. f. Ophth. XLVII, 3. S. 662.

Akkommodationskrampf.

1856. v. Graefe, Zwei Fälle von Krampf der Akkommodationsmuskeln. Arch. f Ophth. II, 2. S. 304.
1861. Liebreich, Scheinbare Kurzsichtigkeit bei übersichtigem Bau und Akkommodationskrampf. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 259.
1866. Bernstein und Dogiel, Zur Lehre von der Irisbewegung. Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins in Heidelberg.
1871. Lüders, Über Refraktionserhöhung bei sympathischer Erkrankung des Auges.
1872. Hagedorn, Über den Akkommodationsspasmus. Inaug.-Diss. Halle.
1874. Krenchel, Wirkung des Muscarins auf Akkommodation und Pupille. Arch. f. Ophth. XX.
1875. Stilling, Über typischen Akkommodationskrampf. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIII. S. 5.
1878. Charcot und Galezowsky, Contraction hystérique de l'iris et du muscle accommodateur avec myopie consécutive. Progr. Méd.
1879. Rava, Akuter Akkommodationskrampf nach Trigeminusneuralgie. Ann. di Ottalm. IV.
Sölberg-Wells, Spasm of the ciliary muscle treated by Duboisin. Lancet. No. 7.
1880. Schliephake, Über die Einwirkung des Muscarins auf das menschliche Auge. Mitt. a. d. ophth. Klinik Tübingen. I. S. 51.
1881. Chisolm, Spasm of the intraocular eye muscles a frequent cause of annoying. The independent practitioner Baltimore.
1882. Harlan. Cases of unusually high degree of accommodative spasm. Med. News. XL.
1884. Fitzgerald, Acute spasm of accommodation. Lancet. No. 20.
G. Mayer und Pribram, Studien über die Pupille.
1885. Dobrowolsky, Myopie durch Akkommodationsanstrengungen bedingt. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Febr.
1886. Borel, Clinique du Dr. Landolt: Affections hystériques des muscles oculaires. Arch. d'Opht. S. 481.
Jegorow, Über den Einfluss der langen Ciliarnerven auf die Pupille. Arch f. Anat. u. Physiol.

1888. Müllerheim, R., Ein Beitrag zur Lehre des Akkommodationskrampfes. Inaug.-Diss. Berlin.
1889. Bettmann, B., A case of tonic spasm of the right ciliary muscle. N. Amer. Pract. Chicago. S. 292.
1890. Decker, Akkommodationskrampf, hervorgerufen durch einen Fremdkörper, der seit 6 Jahren im Glaskörper liegt, ohne weitere Reizerscheinungen zu verursachen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 500.
1892. Oliver, The clinical value of repeated careful correction of manifest refraction error in plastic iritis. Ophth. Rev. S. 397.
Heese, Über den Einfluss des Sympathicus auf die Pupille. Pflüger's Arch. LII.
Albrand, Beitrag zu den Augenmuskelstörungen nach Influenza. Berliner klin. Wochenschr. No. 36.
1893. Baker, A case of persistent spasm of the accommodation, relieved temporarily by tenotomy of the external recti. Amer. Journ. med. Assoc. Chicago. XXI. S. 640.
Desbrières, Myopie forte artificielle. Gaz. des Hospices de Toulouse. Réf. Rec. d'Ophth. S. 693.
Langley und Anderson, On the mechanism of the movement of the iris. Journ. of Physiol. XIII.
Meyer, H., Über einige pharmakologische Reaktionen der Vogel- und Reptilieniris. Arch. f. experim. Path. u. Pharmakol. S. 101.
1894. Braunstein, Zur Lehre der Innervation der Pupillenbewegung.
1896. Krienes, Beitrag zu den Verletzungen des Auges. Festschr. z. 100jähr. Stiftungsfeier d. med.-chir. Friedrich Wilhelm-Instituts.
1898. Dobrowolsky, Über ungewöhnliche Wirkung des Atropin und Eserin auf das menschliche Auge. Petersburger ophth. Kl. 1211.
Heine, Physiologisch-anatomische Untersuchungen über die Akkommodation des Vogelauges. Arch. f. Ophth. XLV, 3. S. 469.
Schultz, Über die Wirkungsweise der Mydriaca und Myotica. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) Heft 1 u. 2. S. 47.
Thomson, Spasm of the eyelids and ciliary muscles with intense pain caused by exposure to electric light. Med. Times and Gaz. No. 1. S. 711.
Pereyra, Spasmo acuto di accommodazione per nevralgia del Trigemino. Boll. d'Ocul. V, 7. S. 191.
Harnack, Über die Wirkung des Atropin. Arch. f. experim. Path. u. Therapie
Adams, Two cases of exceptionally high degree of spasm of the accommodation.
Dehenne, Spasme traumatique de l'accommodation. Communication faite à la Soc. Méd. de Paris.
Higgins, Extreme spasm of accommodation in a case of high degree of hypermetropia.

Akkommodationslähmung.

1868. Dor, Über einen außergewöhnlichen Fall von Lähmung der Akkommodation. Berner Mitt. S. 24.
1870. Leber, Beobachtungen über Akkommodationslähmung und sonstige Störungen der Augennerven bei Wurstvergiftung. Arch. f. Ophth. XVI, 2. S. 236.
1876. Pereyra, Di un caso di spasmo d'accommodazione prodotto instantaneamente per un vivo riflesso di luce solare. Ann. di Ottalm. V. S. 300.
1881. Pechdo, Paralysie de l'accommodation consécutive à la fièvre typhoide. Rec. d'Ophth. S. 87.
1897. Fischer, 3 Fälle von Ptomainvergiftung, verursacht durch den Genuss von Krebsen. Petersburger med. Wochenschr. No. 49. S. 472.

1897. van Ermengem, De l'étiologie du botulisme. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. No. 6.
Weiss, Über Pilzvergiftung mit Augenmuskellähmungen. Zeitschr. f. klin. Med. XXXV. Suppl.
1898. Fürst, Fischvergiftung. Münchener med. Wochenschr. S. 1450.
Beyer, Über Delirien bei Atropinvergiftung. Centralbl. f. Nervenheilk. u. Psychiatrie. XXII. S. 262.
Blok, Paralysie de l'accommodation et mydriase d'origine hystérique. Ann. d'Ocul. CXIX. S. 193.
Blok, Mydriasis en accommodatie-verlamming by hysterie.
de Bourgon, Etude générale sur les anciens et nouveaux mydriatiques d'origine végétale. Rec. d'Opht. S. 398 u. 512.
Conkey, The action of cocain upon the muscle of Müller. Ophth. Rec. Nov.
Dreisch, Über einige Störungen im Oculomotoriusgebiet nach Masern. Münchener med. Wochenschr. S. 627.
Reddingius, Jets over musculaire asthenopie. Med. Weekbl. 25. Juni.
Dufour, Sur la diplopie monoculaire dans la paralysie de l'accommodation. XII. Congr. internat. Sect. XI Opht. S. 301.
Williams, R., A case of paralysis of the accommodation occurring after an attack of influenza. Ophth. Rev. S. 250.
Williams, R., On paralysis of accommodation after influenza. Brit. med. Journ. II. S. 485 u. 1964.
1899. Parkinson, Postdiphtheritic paralysis of the ocular muscles. Lancet.
Wuillomenez, Paralysie diphtérique des muscles de l'oeil. Ann. d'Ocul. CXXII. S. 65.
Dujardin, Ophtalmoplégie interne bilatérale au cours de l'urémie. Clin. Opht. No. 14.

Postdiphtheritische Akkommodationslähmung.

1861. Donders, Paraesis, vooral van de inwendige oogspieren en van het verhemelte, na diphtheritis faucium.
1864. Jacobson, Über eine Refraktionsänderung des Auges, welche nach Akkommodationslähmung beobachtet wird. Arch. f. Ophth. X, 2. S. 47.
Pagenstecher, Über diphtheritische Akkommodationslähmungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 358.
1866. Donders, Anomalien der Akkommodation und Refraktion. S. 506.
1869. Laqueur, Sur les changements brusques de la réfraction de l'oeil. Ann. d'Ocul. LXI. S. 207.
Steffan, Die diphtheritische Akkommodationslähmung und ihre Beziehung zur Halsaffektion. Klin. Erfahrungen und Studien. Erlangen.
1870. Stammeshaus, Über die Funktionsstörungen des Auges nach Angina diphtheritica. Inaug.-Diss. Bonn.
Schweitzer, Die diphtheritische Akkommodationsparese. Verhandl. d. naturforschenden Ges. zu Freiburg.
Manz, Über Calabarwirkung bei diphtheritischen Akkommodationslähmungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 245.
1871. Manz, Über Lähmungen am Auge, insbesondere über Akkommodationslähmung nach Diphtherie. Jahresber. f. Augenheilk. S. 196.
Scheby-Buch, Bericht über 38 Fälle von Akkommodationslähmung aus den Kieler Kliniken. Arch. f. Ophth. XVII, 1. S. 265.
1872. Mühsam, Über diphtheritische Lähmungen. Berliner klin. Wochenschr. S. 21.
1873. Jeaffreson, A case of mydriasis with paralysis of accommodation. Med. Times and Gaz. S. 89.
1875. Callan, Paralysis of the accommodation of the eye following an attack of diphtheria. New York med. Rec. Jan. S. 62.

1877. Förster, Beziehungen der Allgemeinleiden zu Augenerkrankungen. Graefe-Saemisch. VII. S. 172.
1878. Weiss, L., Über die Refraktionsveränderung bei Akkommodationslähmung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIV, 2. S. 190.
1883. Herschel, Über Funktionsstörungen der Augen nach Diphtheria faucium. Berliner klin. Wochenschr. XX. S. 456.
1884. Nagel, Zur Kenntnis der postdiphtheritischen Augenaffektionen. Mitt. aus d. ophth. Klinik in Tübingen. II. S. 153.
Schmidt-Rimpler, Zur Akkommodationslähmung nach Rachendiphtherie. Berliner klin. Wochenschr. S. 97.
1885. Uhthoff, W., Ein Fall von Lähmung aller Augenmuskeln nach Diphtheritis faucium. Neurol. Centralbl. No. 6.
Jacobson, Beziehungen der Veränderungen und Krankheiten des Sehorgans zu Allgemeinleiden und Organerkrankungen. Leipzig, W. Engelmann.
Mendel, Über diphtheritische Lähmungen. Deutsche med. Wochenschr. No. 8. (Sitz. d. Berliner med. Ges. v. 11. Febr.)
Mendel, Zur Lehre von den diphtheritischen Lähmungen. Neurol. Centralbl. No. 6.
1886. Jessop, Case of diphtheritic cycloplegia, with absence of kneejerks, defect of colour vision, and contraction of fields of vision. Transact. Ophth. Soc. United Kingd. S. 386.
Rosenmeyer, L., Über diphtherische Sehstörungen. Wiener med. Wochenschrift. No. 13 u. 14.
Remak, 100 Fälle von postdiphtherischen Augenmuskellähmungen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juni. S. 161.
1888. Krauss, W. C., Anatomischer Befund bei einer diphtheritischen Lähmung. Neurol. Centralbl. No. 17.
1890. Stanford Morton, Paralysis of external recti after diphtheria. Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. 11. Dec.) Ophth. Rev. S. 30.
1891. Hochhaus, Über diphtherische Lähmungen. Virchow's Arch. f. path. Anat. CXXIV, 2.
1892. Berger, E., Les maladies des yeux dans leurs rapports avec la pathologie générale. 8. Av. 43 fig. Paris, Masson.
1893. Henoch, Über Diphtherie. Deutsche med. Wochenschr. No. 44.
Knies, Die Beziehungen des Sehorgans und seiner Erkrankungen zu den übrigen Krankheiten des Körpers u. s. w. Wiesbaden, Bergmann.
Lawford, The ocular lesions following diphtheria. Clin. Journ. 26. Jun.
1894. Gayton, W., A case of paralysis following diphtheria of the genitals only. Lancet. 26. Mai.
1896. Greeff, Die Serumtherapie bei der Diphtherie des Auges und bei postdiphtherischen Augenmuskellähmungen. Deutsche med. Wochenschr. No. 37.
Hertel, E., Die Anwendung der Serumtherapie bei Diphtherie des Auges und postdiphtherischer Akkommodationslähmung. Korrespondenzbl. d. allgem. ärztl. Ver. von Thüringen.
Moll, 150 Fälle von postdiphtherischer Akkommodationslähmung. Centralbl. f. Augenheilk. Jan. S. 2.
1897. Schirmer, Die postdiphtheritischen Erkrankungen des Auges. Samml. zwangl. Abhandl. Halle, Marhold.

Akkommodation im aphakischen Auge.

1795. Home, E., Philos. Transact. S. 1; 1796. S. 1; 1802. S. 1.
1801. Young, Thomas, On the mechanism of the eye. Philos. Transact. I. S. 23.
1841. Bonnett, Gaz. des Hôp. 28. Aug.
1845. Henle, C., Cannstadt's Jahresbericht über die Fortschritte der Biologie. I. S. 71.

1853. Listing, Handwörterbuch der Physiologie. S. 501.
1856. Arlt, Die Krankheiten des Auges. III. S. 207.
1866. Donders, Anomalien der Akkommodation und Refraktion. S. 266.
1872. Förster, Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. X. S. 39.
1873. Coert, Inaug.-Diss. Utrecht.
Mannhardt, Akkommodationsvermögen bei Aphakie. Inaug.-Diss. Kiel.
Woinow, Das Akkommodationsvermögen bei Aphakie. Arch. f. Ophth. XIX, 3. S. 107.
1875. Schöler, Jahresbericht seiner Klinik.
1885. Bickerton, Lancet. S. 514.
1886. Schneller, Über Entstehung und Entwicklung der Kurzsichtigkeit. Arch. f. Ophth. XXXII, 3. S. 245.
1893. Hofhammer, M., Über Akkommodation bei Aphakischen. Inaug.-Diss. München.
1894. Abadie, Journ. d'Ophth. I. S. 427.
Sattler, Untersuchungen über die Frage nach dem Vorkommen einer äußeren Akkommodation durch Muskeldruck. Arch. f. Ophth. XL, 3. S. 239.
1896. Davis, Manhattan eye and ear Hospital Report.
Litten, Congress in Carlisle. Ann. d'Ocul. S. 296.
1897. Walter, Über Akkommodation bei Aphakie. Arch. f. Augenheilk. S. 22.
Lohnstein, Bemerkungen über den Aufsatz Walters: Akkommodation bei Aphakie. Arch. f. Augenheilk. S. 260.
White, Transact. Amer. Ophth. Soc.

Abschnitt VIII.

Myopie.

§ 118. Der Besprechung der verschiedenen Refraktionsanomalien schicken wir eine kurze Übersicht über die Refraktionsentwicklung des menschlichen Auges in verschiedenen Lebensaltern voraus.

Lange Zeit hatte Jäger's Angabe (1861), dass 78% aller Neugeborenen myopisch seien, ziemlich allgemeine Gültigkeit. Dagegen fand Ely (1879) bei erneuten Untersuchungen an atropinisierten Augen Neugeborener nur 2% Myopie. Horstmann fand später 10%, Bjerrum wieder 34%. Alle anderen späteren Untersucher: Königstein, Ulrich, Schleich, Herrnheiser dagegen sahen bei Untersuchung von im ganzen ca. 3200 Augen Neugeborener keine Myopie.

Jäger untersuchte im aufrechten Bilde ohne Atropinisierung. Dass der von ihm gefundene hohe Procentsatz von Myopie hierauf zurückzuführen sein dürfte, ist nach einigen von mir mit Dr. Heine an Neugeborenen angestellten Beobachtungen sehr wahrscheinlich. Wir fanden bei skiaskopischer Untersuchung nicht atropinisierter Neugeborener zeitweise, meist nur für Augenblicke, emmetropische oder leicht hypermetropische Refraktion, im nächsten Augenblicke beträchtliche Myopie, mehrfach eine solche von mehr als 7—9 D.

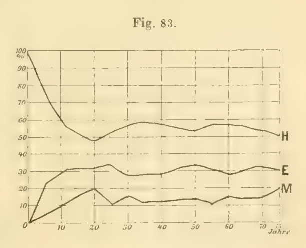
Herrnheiser fand bei 1900 nach Atropinisierung im aufrechten Bilde untersuchten Neugeborenen nur ein myopisches, anscheinend krankes Augenpaar. In

der Regel fand sich Hypermetropie zwischen 1 und 6 D., im Mittel betrug sie 2,3 D. Den gleichen Mittelwert hatte früher Horstmann gefunden. Auch Riegel konstatierte bei 40 Neugeborenen eine Hypermetropie von 1—3 D. Abnorm lange Bulbi bei Neugeborenen hat u. a. Horner (1880) beschrieben, doch war der Sehnerv dabei tief glaucomatös exkaviert.

Die Hornhautkrümmung ist beim Neugeborenen und in den ersten Lebenswochen etwas stärker, als beim Erwachsenen. So fanden z. B. v. Reuss einen Hornhautradius von 6,59—7,138 mm, Laqueur 6,75—8,1 mm, Hasner 6,06 mm, Axenfeld 7,0—7,44 mm, was einer um etwa 1—5 Dioptrien höheren Hornhautrefraktion als beim Erwachsenen entsprechen würde. Um die thatsächlich gefundene, nur leicht hypermetropische Refraktion des Neugeborenen zu erklären, müsste dessen Linse immer noch eine um 25 bis 30 Dioptrien höhere Brechkraft besitzen als die des Erwachsenen. Dies dürfte zum größten Teile durch ihre kugelige Gestalt bedingt sein; ihr Radius beträgt nach Merkel und Orr beim Neugeborenen nur 3,3 mm (bei einer Dicke von 5,1 mm und einem äquatorialen Durchmesser von 6,3 mm).

Diese Werte würden einer angenähert emmetropischen Refraktion ungefähr entsprechen: Bei einem Index der Linse = 1,43 mm würde für einen Radius der Linsenvorderfläche = 3,3 mm ceteris paribus eine Myopie von ca. 20 Dioptrien sich ergeben. Verkleinerung des Radius der hinteren Fläche würde diese Myopie beträchtlich steigern; die Dicke der Linse = 5,1 mm würde zur Folge haben, dass die Myopie ein wenig geringer wäre, als unter sonst gleichen Verhältnissen bei einer nur 3,6 mm dicken Linse. Selbstverständlich darf man in diesen Ermittlungen nicht viel mehr als eine Schätzung sehen; denn die Bestimmung der Linsenradien u. s. w. bei Neugeborenen kann nach den bisher benutzten Methoden nicht mit genügend großer Genauigkeit vorgenommen werden.

Fig. 83.



Als refraktionserhöhender Umstand kommt auch die auffällige Flachheit der vorderen Kammer der Neugeborenen in Betracht. Wiederholt habe ich bei Kindern in den ersten Lebenstagen die vordere Kammer so flach gefunden, dass die Iris der hinteren Hornhautwand anzuliegen schien. Dadurch kann eine Refraktionserhöhung um einige Dioptrien bedingt sein.

Von dem weiteren Verlaufe der Refraktionsentwicklung des menschlichen Auges während des Lebens erhalten wir ein Bild durch nebenstehende,

von Herrnheiser auf Grund der Untersuchung von mehr als 11000 Augen aller Altersstufen entworfene Tabelle (Fig. 83). Die Kurve der Hypermetropie geht in der ersten Lebensdekade steil herunter, ebenso rasch ungefähr steigt die Kurve für Emmetropie an, während die Myopiekurve ein langsameres Ansteigen bis gegen das 20. Jahr zeigt. Später haben die Linien der 3 Refraktionszustände angenähert parallelen Verlauf. Die leichte Zunahme der Myopie im Greisenalter ist wohl auf die mit beginnendem Star öfter einhergehende »Linsenmyopie« (s. u.) zu beziehen. Besonders zu betonen ist, dass in allen Lebensperioden bis ins höchste Alter die Hypermetropie der überwiegende Refraktionszustand bleibt.

Randall hat (1888) eine sorgfältige Zusammenstellung fast aller bis dahin bekannt gewordenen systematischen Untersuchungen, insbesondere jugendlicher Individuen mitgeteilt, die sich auf 167 Gruppen und im ganzen mehr als 200000 Augen erstreckt. Nach ihm ist Hypermetropie in der Kindheit und den ersten Jugendjahren die weitaus vorherrschende Refraktion und der Procentsatz geht in den ersten Schuljahren nur wenig herunter. Außerhalb der Schule und bei uncivilisierten Völkern bleibt die Hypermetropie während des ganzen Lebens der vorherrschende Refraktionszustand. Sie fand sich in 92 % unter 1754 untersuchten Kindern der ersten Lebensjahre, in 76 % unter 3358 Augen von Kindern der ersten Schuljahre. In den höheren Schulen bildet sie noch wenigstens 56 % der gesamten untersuchten Augenzahl. Myopie ist auch nach ihm in der Jugend fast ungekannt und zu Beginn der Schulzeit sehr selten. In den ersten Schuljahren ist der Procentsatz noch gering und wird erst in den höheren Klassen, besonders der deutschen Schulen, beträchtlicher. Bei Augen kleiner Kinder fand sich Kurzsichtigkeit nur in 2,2 %, bei 488 Augen von Kindern vor Beginn der Schulzeit in 6,5 %, bei 23315 Augen von Kindern der ersten drei Schuljahre in 6,8 %, bei 3052 Augen junger Leute, auf welche Schulschädlichkeiten nicht stark einwirkten, in 11,4 %.

Straub und Falkenburg schätzen die normale Hypermetropie des Neugeborenenauges auf drei Dioptrien. Diese soll »alsbald an Dioptrienzahl abnehmen bis auf 1,5—2 Dioptrien, und, falls das Auge normal bleibt, auf dieser Höhe während des ganzen Lebens verharren«. In der Jugend und im mittleren Alter werde diese Hypermetropie durch den Tonus des Ciliarmuskels latent und trete erst im Greisenalter wieder hervor.

§ 119. Der myopische Refraktionszustand ist dadurch gekennzeichnet, dass parallel auf das Auge auffallende Strahlen bei Akkommodationsruhe vor der lichtempfindlichen Netzhautschicht zur Vereinigung kommen. Ohne Gläser kann das Auge nur solche Strahlen auf der Netzhaut vereinigen, die von einem in endlicher Enfernung vor ihm liegenden Punkte ausgehen.

Die erste zutreffende Definition der Myopie hat Kepler (1611) gegeben. Boerhave (1708) charakterisierte das kurzsichtige Auge richtig durch die Angabe, dass in ihm die Strahlen entfernter Objekte vereinigt werden, »ehe selbige zur netzförmigen Haut gelangen«.

Theoretisch kann myopische Refraktion durch folgende Umstände bedingt sein:

1. Zu große Länge der Bulbusachse. 2. Zu starke Krümmung der Hornhaut. 3. Zu starke Krümmung einer oder beider Linsenflächen. 4. Zu hohen Totalbrechungsindex der Linse. (Dieser kann wieder entstehen: a. durch zu hohes Brechungsvermögen des Linsenkernes, b. durch zu niedrigen Index der Linsenrinde, c. durch beides.) 5. Zu hohen Brechungsindex der Hornhaut oder des Kammerwassers. 6. Zu niedrigen Brechungsindex des Glaskörpers. 7. Abnorme Annäherung der Linse gegen die Hornhaut. Endlich können mehrere der vorerwähnten Umstände gleichzeitig am Zustandekommen der Myopie beteiligt sein.

Die praktisch wichtigsten sind die beiden erstgenannten Formen: von ihnen ist die Achsenmyopie weitaus die häufigste. Wir erörtern zunächst nur diese und geben danach eine Übersicht über die nicht durch Achsenverlängerung bedingten Formen der Kurzsichtigkeit.

Dass zwischen Kurzsichtigkeit und Achsenverlängerung des Auges ein Zusammenhang bestehe, war schon den Ärzten des vorigen Jahrhunderts bekannt. Boerhave lehrte, dass die Kurzsichtigkeit in allzu großer Länge des Bulbus und zu großer Konvexität der Hornhaut ihre Ursache haben könne. Plempius scheint zuerst (1632) kurzsichtige Augen anatomisch untersucht zu haben; er schreibt, das Auge sei »in dem Teile zwischen Linse und Netzhaut verlängert«. Später hat Morgagni (1761) den anatomischen Nachweis der Achsenverlängerung des myopischen Auges erbracht. 1769 erwähnte Guérin als Ursache der Kurzsichtigkeit: »1. wenn viele Feuchtigkeiten die hinteren Teile des Auges erschlafft haben, 2. wenn einige vorhandene Beulen dem Auge eine längliche Gestalt geben«. Es ist wohl wahrscheinlich, dass Guérin damit das sogenannte Staphyloma posticum der späteren Forscher gemeint hat. Richter vertrat (1790) die Meinung, dass die widernatürliche Länge des Auges zweifellos »eine Hauptursache« der Myopie sein könne. Diese Anschauung geriet für ein halbes Jahrhundert wieder ganz in Vergessenheit. Zwar beschrieb Scarpa (1807) die bekannten, stark gedehnten Bulbusformen, aber er erkannte nicht den Zusammenhang mit der myopischen Refraktion und auch Ritterich, der (1842) bei einem stets kurzsichtig gewesenen Patienten »birnförmige Augapfel mit starker Verdünnung der Sclera am hinteren Pole« beschrieb, scheint die Bedeutung dieses Befundes nicht erkannt zu haben. Erst durch Arlt's Untersuchungen (1854) verschaffte sich die Ansicht, dass die Achsenverlängerung die Ursache der Kurzsichtigkeit sei, rasch Eingang in der von Arlt gegebenen Fassung: »Die Myopie als bleibender Refraktionszustand des Auges beruht im allgemeinen auf Verlängerung des Bulbus von vorn nach hinten«.

Nachdem Donders durch ophthalmometrische Messung gefunden hatte, dass der Hornhautradius bei Kurzsichtigkeit nicht kleiner, ja, bei den

höchsten Graden von Myopie sogar größer als bei Emmetropie zu sein pflege, wurde die Ansicht herrschend, dass Myopie (abgesehen von besonderen Fällen, wie Keratoconus, Linsenverlagerung u. s. w.) »fast ausschließlich von einer mit Staphyloma posticum in Verbindung stehenden Verlängerung der Sehachse abhänge.«

Die Donders'sche Einteilung der Kurzsichtigkeit in verschiedene Formen: stationäre, zeitlich progressive und dauernd progressive Myopie, welche bald allgemein angenommen wurde, geht zwar zunächst nur von der klinischen Erscheinungsweise der Myopie aus, doch liegt ihr wohl die Voraussetzung zu Grunde, dass diese Formen im wesentlichen nur verschiedene Grade einer und derselben Erkrankung, der Dehnung des hinteren Augenabschnittes, darstellen. Der ersten Gruppe (stationäre Myopie) gehören klinisch im allgemeinen die niederen Kurzsichtigkeitsformen an, deren Grad während des ganzen Lebens gar nicht oder doch verhältnismäßig wenig zunimmt; die zweite Gruppe ist wesentlich dadurch charakterisiert, dass während einer bestimmten Lebensperiode, die im allgemeinen ungefähr mit der Schulzeit zusammenfällt, die anfänglich geringe Kurzsichtigkeit beträchtlich, bis zu etwa 7 bis 9 Dioptrien ansteigt, dann aber, ungefähr von Beginn der Pubertätszeit an, nicht mehr oder doch in viel geringerem Grade wächst; bei der dritten Form hält diese Zunahme bis in die dritte und vierte Lebensdekade oder noch länger an.

Dieser wesentlich klinischen Einteilungsweise gegenüber hat man in den letzten Jahren mehrfach den Versuch gemacht, andere, mehr ätiologische Gesichtspunkte bei Aufstellung der verschiedenen Myopieformen zu betonen, ohne dass es gelungen wäre, die weniger präjudicierende Donders'sche Einteilung durch eine bessere zu ersetzen. Der Streit über Berechtigung und Zweckmäßigkeit der einen oder anderen dieser neuen Einteilungsarten hat noch keine befriedigende Lösung gefunden; die Erörterung der hierher gehörigen Fragen fällt zusammen mit jener der Ursachen der Myopie. Es kann nicht unsere Aufgabe sein, einen auch nur annähernd vollständigen Überblick über die zahllosen hierüber geführten Kontroversen zu geben. Wir wollen versuchen, in kurzen Zügen die Entwicklung der wichtigsten einschlägigen Fragen zu schildern.

§ 120. Bei den Untersuchungen über die Ursachen der Kurzsichtigkeit steht seit mehr als 30 Jahren im Vordergrunde des Interesses die Frage nach der Art des Zusammenhanges zwischen Nahearbeit und Achsenverlängerung des Auges. Dass die Nahearbeit auf die Entwicklung der Kurzsichtigkeit von Einfluss sei, wurde schon vor drei Jahrhunderten gelehrt. Sagt doch bereits Kepler, dass junge Leute, die studieren, leicht kurzsichtig werden. Dieser Zusammenhang ist zu Anfang unseres Jahrhunderts insbesondere wieder von Ware u. a. betont worden, und man hat mit Rücksicht

hierauf schon in der Mitte der vierziger Jahre zuerst in Bayern und Baden, später, insbesondere nach den COHN'schen Arbeiten, in vielen anderen Ländern umfassende schulhygienische Maßnahmen veranlasst. Ein Eingehen auf die zahlreichen schulstatistischen Arbeiten scheint hier kaum nötig: ich verweise auf die von COHN in seiner Hygiene des Auges gegebene Übersicht und auf RANDALL's schon erwähnte Zusammenstellung.

Dass aber die Nahearbeit sicher nicht die einzige Ursache für die Entstehung der Myopie sein kann, hat schon DONDERS betont, indem er darauf hinwies, dass »ausnahmsweise auf dem Lande und in den niedersten Schichten der Bevölkerung in einzelnen Familien selbst die höchsten Grade von Myopie beobachtet werden«, und dass er »selbst bei Matrosen, welche ihre Augen nie zum Nahesehen anstrengen, einige Fälle von progressiver Myopie gefunden habe. Derartige Beobachtungen sind es wesentlich, die manche Forscher veranlassen, die sogenannte Schulkurzsichtigkeit vollständig in Abrede zu stellen, wie HOOR (1901), für den lediglich die angeborene Disposition von entscheidender Bedeutung ist. (Die Augen, die in der Schule kurzsichtig werden, würden es nach seiner Meinung auch ohne Schule.)

Verhältnismäßig häufig treffen wir Kurzsichtigkeit auch in solchen Fällen, wo eine starke Annäherung der Objekte durch besondere Umstände, wie Hornhautflecke, Schichtstar u. s. w. (wegen der schlechten Sehschärfe) nötig wird. Vielfach wird die hierbei auftretende Myopie direkt auf diese Annäherung bezogen. Wenn aber manche Forscher (HOSCH) angeben, dass der Schichtstar ausnahmslos in myopischen Augen vorkomme, so kann ich dem nicht beipflichten. Ich habe wiederholt 60—70 Jahre alte Patienten gesehen, die trotz Schichtstares und entsprechend schlechter Sehschärfe angenähert emmetropisch waren.

Während der ungünstige Einfluss der Nahearbeit heute kaum mehr bestritten wird, ist man hinsichtlich der Erklärung dieser Thatsache trotz der großen darauf verwendeten Mühe noch nicht über das Stadium der Hypothesen hinausgekommen; keiner von allen Erklärungsversuchen hat sich allgemeinere Geltung zu verschaffen vermocht. Zunächst sind die beiden Hypothesen von dem ungünstigen Einflusse der Akkommodation sowie jene von der schädlichen Wirkung der Convergenz viel erörtert worden.

Die Mehrzahl der Forscher nimmt an, dass mit der Nahearbeit eine Steigerung des intraocularen Druckes im hinteren Bulbusabschnitte (d. h. im Glaskörper) einhergehe, welche eine Dehnung der hinteren Wand zur Folge habe. Diese Auffassung ist, soweit ich sehe, auf ARLT zurückzuführen. Er sagt: Die Formveränderung des Auges wird bewirkt durch allmähliche Verdrängung der hinteren Wand. Sie wird weder durch Muskelzug (Ciliarmuskel, Musc. obliqui), noch durch Auseinanderzerrung der Scleralschichten und der Sehnervenscheiden eingeleitet oder bewerkstelligt. Sie kann nur von wiederholter, temporärer Steigerung des Druckes im hinteren

Augenraume abgeleitet werden.« Eine solche Annahme allein genügt aber noch nicht zur Erklärung der Myopie. Denn wir sehen von vielen den gleichen Schädlichkeiten ausgesetzten Kindern immer nur einen gewissen Procentsatz kurzsichtig werden und nicht selten entwickelt sich die Kurzsichtigkeit nur an dem einen von beiden Augen. Es muss also eine individuelle Verschiedenheit der Augen angenommen werden: »Disposition zur Myopie« (s. u.). Mit Donders, der ausdrücklich betonte, dass »die Prädisposition zur Entwicklung eines Staphyloma posticum fast ohne Ausnahme schon bei der Geburt bestehe«, erkennen wohl die Meisten diesen Faktor an; doch wird ihm von verschiedenen Seiten verschieden große Bedeutung beigelegt. Nur sehr wenige Forscher, wie Erismann und Dobrowolsky, haben die Annahme einer angeborenen Disposition zur Myopie für ganz überflüssig gehalten. Donders legte bei Erörterung des Einflusses der Nahearbeit das Hauptgewicht auf 3 Punkte: 1. Druck der Muskeln auf den Augapfel bei starker Convergenz der Sehachsen. 2. Vermehrung des intraocularen Druckes, bedingt durch Überfüllung des Auges mit Blut bei vornüber geneigter Haltung des Kopfes. 3. Kongestionszustände im Augenhintergrunde, welche zur Erweichung der Gewebe führen und selbst bei normalem, aber mehr noch bei erhöhtem intraocularen Drucke hauptsächlich am hinteren Pole auftreten.«

§ 121. Die Ansicht, dass die Akkommodation selbst durch Steigerung des intraocularen Druckes den Verlauf der Kurzsichtigkeit ungünstig beeinflusse, ist, wie es scheint, zuerst von Dobrowolsky und Erismann verfochten worden. Später (1885) schloss sich Dobrowolsky der Förster'schen Ansicht (s. u.) insofern an, als er der Convergenz die größere Rolle bei der Entstehung der Myopie zuschrieb, glaubte aber doch, dass auch Akkommodation allein, ohne Convergenz, Kurzsichtigkeit erzeugen könne. Donders, Jäger und Stellwag hielten einen derartigen Einfluss für nicht wahrscheinlich. Trotz der schwachen thatsächlichen Begründung hat die Auffassung von der schädlichen Wirkung der Akkommodation eine außerordentliche Verbreitung gefunden. Die Hypothese schien gestützt durch die mehrfach aufgestellte Behauptung, dass während der Akkommodation eine intraoculare Drucksteigerung experimentell nachweisbar sein sollte. Unter den insbesondere von klinischer Seite gegen diese Auffassung erhobenen Einwänden theoretischer Natur möge hier nur der eine angeführt werden, dass ja die Myopischen mit einer Kurzsichtigkeit von mehr als 3 D. nur wenig oder gar nicht in die Lage kommen zu akkommodieren, so dass ein weiteres Fortschreiten der Myopie über diesen Grad hinaus nicht verständlich wäre, dass aber auf der anderen Seite gerade die Hypermetropischen zur Entstehung von Myopie disponiert sein müssten, weil sie am häufigsten und am stärksten akkommodieren. Übrigens weist Förster mit Recht darauf

hin, dass eine durch Ciliarmuskelkontraktion im hinteren Bulbusabschnitte bedingte Drucksteigerung ganz von der Chorioidea getragen werden müsste und unmöglich auf die Sclera einwirken könnte. Die ganze Frage ist gegenstandslos geworden, seitdem ich mit Heine auf experimentellem Wege den Nachweis erbracht habe, dass auch maximale Ciliarmuskelkontraktion keinerlei Einfluss auf die Höhe des intraocularen Druckes ausübt.

Man hat weiterhin die Meinung geäußert, durch die Akkommodation werde beim Kurzsichtigen die Sehschärfe gesteigert und infolgedessen sei für ihn ein Anlass zum Akkommodieren gegeben. Dies ist aber nur insofern richtig, als bei Annäherung des Objektes eine dem verminderten Abstande proportionale Vergrößerung des Netzhautbildes eintritt; jene irrige Meinung ist, wie Gullstrand gezeigt hat, darauf zurückzuführen, dass man bei Messung der Objektabstände von den Knotenpunkten eine Vergrößerung des »Knotenpunktswinkels« berechnete, der aber (s. o.) keinen Schluss auf die Netzhautbildgrößen bezw. Sehschärfe gestattet. Der Myopische hat keinenfalls mehr Anlass, zum Zweck der Verbesserung seiner Sehschärfe zu akkommodieren, als der Emmetropische oder der Hypermetropische.

Eine zweite Hypothese über den Zusammenhang zwischen Ciliarmuskelkontraktion und Achsenverlängerung nimmt an, dass die hinteren Enden der meridionalen Ciliarmuskelfasern an dem hinteren Augenabschnitte zerren und dadurch eine Verlängerung desselben sowie die bekannten ophthalmoskopischen Veränderungen des kurzsichtigen Auges herbeiführen könnten. Es ist mir aber nicht verständlich, wie eine solche »Zerrung«, selbst wenn sie vorkommt, eine Verlängerung des Auges herbeiführen sollte. (Schon Arlt hebt hervor: »Überblicken wir die Veränderungen, welche bei Einstellung für die Nähe auftreten, so finden wir mit Ausnahme des Umstandes, dass dabei der Glaskörper in toto unter etwas erhöhten Druck gesetzt wird, . . . kein Moment, von welchem sich eine Formänderung des Bulbus direkt ableiten ließe«.)

Iwanoff schloss aus der anatomischen Anordnung des Ciliarmuskels, dass die bei seiner Kontraktion erfolgende Zerrung der Chorioidea am Sehnervenrande in der Bildung des Conus zum Ausdrucke komme. Dieser Auffassung folgten Horner und viele andere. Das physiologische Experiment spricht aber gegen die Annahme, dass der Ciliarmuskelzug sich bis zum Sehnerven fortsetze. Hensen und Völckers haben gezeigt, dass in den Bulbus eingestochene Nadeln, deren Bewegungen bei Kontraktion des Ciliarmuskels eine entsprechende Verschiebung der Chorioidea anzeigen, bei Ciliarmuskelkontraktion nur noch in der Gegend des Äquators und etwas hinter ihm Ausschläge geben, in der Maculagegend aber völlig unbewegt bleiben. Auch wir fanden, dass diese Nadelbewegungen am Äquator am deutlichsten, ein wenig mehr rückwärts aber sehr klein und weiterhin ganz unmerklich

waren. Ferner wäre auch hier wieder zu erwarten, dass mit dem Aufhören merklicher akkommodativer Anspannung, also wenn die Myopie mehr als 3—4 Dioptrien beträgt, die Zerrung am Sehnervenkopfe aufhörte, der Conus stationär bliebe, und es wäre unerklärt, warum diese Zerrung nur am temporalen Sehnervenrande zum Ausdrucke kommt, während die meridionalen Ciliarmuskelfasern sich doch im allgemeinen angenähert gleichmäßig kontrahieren und vermöge ihrer anatomischen Anordnung viel eher am nasalen als am temporalen Sehnervenrande einen Zug auszuüben vermöchten. Vor allem müssten aber gerade die Hypermetropischen einen solchen Conus zeigen, was im allgemeinen nicht der Fall ist. Auch für die von Mauthner geäußerte Vermutung, dass die Akkommodation durch Zerrung der Chorioidea und dadurch bedingte mechanische Hyperämie der Aderhaut und vermehrte Ausschwitzung aus den Gefäßen zu Drucksteigerung führen könne, fehlt jede thatsächliche Stütze. Es bliebe unerklärt, warum diese Erscheinungen in den viel mehr akkommodierenden hypermetropischen Augen niemals beobachtet werden.

Das Vorstehende möge genügen, um darzuthun, wie wenig die Annahme befriedigen kann, dass die Akkommodation eine Verlängerung und die ophthalmoskopisch sichtbaren Veränderungen des kurzsichtigen Auges hervorzurufen imstande sein soll. (Der schädliche Einfluss der Akkommodation auf die Entwicklung der Kurzsichtigkeit wird gegenwärtig noch von Javal, Tscherning u. a. angenommen. Der letztere geht bei dieser Annahme im wesentlichen von seiner heute nicht mehr haltbaren Akkommodationshypothese aus.)

Wenn Ascher bei 2 Kaninchen, welchen er einige Wochen hindurch zur Erzeugung eines intensiven Ciliarmuskelkrampfes Eserin eingetraufelt hatte, keine Veränderung der Augenform auftreten sah, so entspricht dies dem, was nach dem Gesagten zu erwarten war. Übrigens ist zu betonen, dass nach unseren Untersuchungen Kaninchen nur ein rudimentäres Akkommodationsvermögen haben.

§ 122. Vielfach hat man dem »Akkommodationskrampfe« einen großen Einfluss auf die Entstehung der Kurzsichtigkeit zugeschrieben. Dieser Annahme liegt die Beobachtung zu Grunde, dass man oft bei Kindern eine höhere Refraktion findet, wenn man diese funktionell bestimmt, als bei der Bestimmung mit dem Augenspiegel, sowie die Thatsache, dass nach Atropinisierung bei vielen Menschen die Refraktion niedriger gefunden wird, als vorher. Vielfach wird angegeben, dass insbesondere leicht myopische Kinder einen starken Akkommodationskrampf haben sollen. Sehr nachdrücklich hat Mauthner diese Anschauung vertreten; er war der Meinung, dass die beginnende Dehnung der Augenhäute, in specie der Aderhaut, die Ursache des krankhaften Leidens des Ciliarmuskels sei, welches zu einer dauernden Kontraktion des letzteren führe. Dabei sollte in der Regel die

Pupille auffallend weit sein. Für die öfter (zuerst von Jäger) geäußerte Meinung, dass länger bestehende Ciliarmuskelkontraktion schließlich dauernd vermehrte Linsenwölbung, also eine Art Linsenmyopie, zur Folge haben könne, lassen sich keine Thatsachen anführen: die bisherigen, allerdings noch nicht sehr zahlreichen Messungen der Linsenradien myopischer Augen sprechen eher gegen als für ihre Richtigkeit. Dass eine akkommodative Drucksteigerung nicht zur Erklärung der angeblich aus Akkommodationskrampf hervorgehenden Myopie herangezogen werden kann, ergiebt sich schon aus unseren früheren Ausführungen. Selbst wenn der Akkommodationskrampf bei beginnender Kurzsichtigkeit im jugendlichen Auge wirklich so häufig wäre, wie von verschiedenen Seiten angegeben wird, so könnte er nicht die ihm zugeschriebene Bedeutung für die Entstehung der Myopie haben. Aber die Häufigkeit des Akkommodationskrampfes ist nach meinen Erfahrungen (s. o. § 115) nicht entfernt so groß, als es nach vielen Litteraturangaben den Anschein haben könnte. Wir finden zwar bekanntlich nicht selten, dass die Kinder bei der ersten subjektiven Prüfung mit schwachen Konkavgläsern besser zu sehen angeben als ohne Glas, obschon die objektive Untersuchung keine oder eine geringere, als die subjektiv bestimmte Myopie ergeben hatte. Häufig wird danach Akkommodationskrampf angenommen und man versucht die fragliche Erscheinung durch die Annahme zu deuten, dass der Akkommodationskrampf im Dunkeln, beim Ophthalmoskopieren sofort nachlasse. Damit steht aber eine andere Angabe in Widerspruch, wonach der Krampf oft so hartnäckig sein soll, dass er selbst nach energischer Atropinisierung sich nicht vollständig löse. In mehreren derartigen Fällen habe ich bei Schulkindern schon nach Vorsetzen eines Planglases normale Sehschärfe gefunden, ja, das bloße Aufsetzen des leeren Brillengestelles genügte zuweilen, um die scheinbare Myopie sofort zum Schwinden zu bringen. Es ist wohl nicht angängig, solche Fälle als Akkommodationskrampf zu bezeichnen.

Nach dem Gesagten kann ich dem Akkommodationskrampfe für die Entstehung der Achsenmyopie keine ätiologische Bedeutung beimessen.

§ 123. Unter der Bezeichnung »Convergenzhypothesen« mögen alle jene Ansichten zusammengefasst werden, welche das wichtigste ursächliche Moment für die Entstehung der Kurzsichtigkeit in der durch Kontraktion der äußeren Augenmuskeln beim Konvergieren hervorgerufenen Steigerung des intraocularen Druckes sehen. Verschiedene Forscher haben hierbei den einzelnen Augenmuskeln eine verschieden große Rolle zugeschrieben: Arlt legte das Hauptgewicht auf die Wirkung des Rectus externus und des Obliquus inferior, Philipp (1840) (vgl. Schmidt-Rimpler, Arch. f. Ophth. XXXV, 1. S. 200) und neuerdings Stilling auf die des obliquus superior, viele andere auf die gemeinsame Wirkung des Rectus externus und

internus. Die meisten neueren Forscher beziehen wohl die Drucksteigerung auf direkte Kompression des Auges durch den kontrahierten Muskel. Arlt dagegen ist der Meinung, dass diese Drucksteigerung indirekt, durch Blutüberfüllung der Augen zustande komme, indem bei steigender Convergenz der Sehlinien die genannten Muskeln auf die Wirbelvenen drücken und so den Blutabfluss aus ihnen behindern sollen. Gegen diese Hypothese hat Fuchs geltend gemacht, dass er bei mikroskopischer Untersuchung derartiger Augen weder eine Erweiterung der betreffenden Wirbelvenen, noch eine solche des umgebenden Sklerotikalkanals gefunden hat.

Zur Verbreitung der Ansicht von dem schädlichen Einflusse der Convergenz, hauptsächlich der erschwerten Convergenz bei dynamischer Divergenz, hat in erster Linie A. v. Graefe beigetragen. In konsequenter Verfolgung dieser Auffassung ist von ihm und seinen Schülern eine große Reihe von Tenotomien der recti externi aus therapeutischen und prophylaktischen Gründen vorgenommen worden, doch hat sich ein günstiger Einfluss auf den Verlauf der Myopie, soweit ich aus der Litteratur ersehen kann, nicht mit Bestimmtheit nachweisen lassen. Das Verfahren scheint heute wohl ziemlich allgemein verlassen. (Auch der von Gerloff gemachte Vorschlag, zur Entlastung der Augen von Muskeldruck gleichzeitig die Musculi recti interni und externi zu durchschneiden, hat keinen Anklang gefunden.)

Die Theorie von der Wirkung der äußeren Augenmuskeln auf das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit hat eine bessere thatsächliche Begründung, als die Akkommodationshypothese, insofern aus den experimentellen Untersuchungen über intraocularen Druck mit Bestimmtheit hervorgeht, dass Kontraktion der äußeren Augenmuskeln wirklich eine (unter Umständen beträchtliche) Steigerung des intraocularen Druckes zur Folge haben kann. Es ist nur die Frage, ob und in welcher Weise eine solche Drucksteigerung imstande ist, die Dehnung des hinteren Abschnittes normaler Augen herbeizuführen. Nach der angeführten Hypothese muss angenommen werden, dass während jeder Kontraktion der betreffenden Muskeln der intraoculare Druck vorübergehend erhöht werde. Dementsprechend wird von Stilling, Gerloff u. a. angenommen, dass wesentlich jene Thätigkeiten zu Myopie führen sollen, die häufig wiederholte Kontraktionen jener Muskeln bedingen. Während der Pausen zwischen den einzelnen Kontraktionen wäre der intraoculare Druck wieder normal.

Die Frage, wie sich die Spannung des kurzsichtigen Auges im allgemeinen verhält, wird sehr verschieden beantwortet. Arlt, Mackenzie, Donders, Hasner und Junge gaben übereinstimmend an, die Spannung des myopischen Auges sei erhöht. v. Hippel und Grünhagen, sowie Monnik fanden diese Erhöhung nur bei Myopie von mehr als 12 Dioptrien. Stilling giebt an, dass er die starke Spannung excessiv myopischer Augen sogar noch in der Leiche konstatiert habe. Für alle diese Drucksteigerungen

müssten selbstverständlich wieder besondere Erklärungen gesucht werden, denn aus der Convergenz- und aus der Akkommodationshypothese lassen sie sich nicht erklären. Viele andere Forscher stellen aber ebenso bestimmt die Drucksteigerung in myopischen Augen in Abrede. Ich habe bisher nicht finden können, dass sich kurzsichtige Augen beim Fehlen anderweitiger Komplikationen merklich härter anfühlen, als der Durchschnitt der normalen Augen. Inwieweit der anatomische Befund der Druckhypothese entspricht, werden wir weiter unten erörtern. Hier genüge der Hinweis, dass im allgemeinen Drucksteigerung, wie wir sie beim glaucomatösen Prozess auftreten sehen, in jugendlichen Augen ganz andere Veränderungen hervorruft, als die an myopischen Augen gefundenen. In diesen wird so gut wie ausschließlich nur die hintere Polgegend gedehnt, bei dem Glaucom jugendlicher Augen aber finden wir bekanntlich vorwiegend Teile des vorderen Abschnittes oder den ganzen Augapfel gleichmäßig vergrößert. Gegen eine solche Vergleichung myopischer Augen mit glaucomatösen haben Arlt und Stilling geltend gemacht, dass es sich beim Glaucom um kontinuierliche, sehr starke Drucksteigerung handle, so dass »der Sclerotica sozusagen gar nicht Zeit gelassen wird, nachzugeben«, während bei der Myopie die Ursache in größeren Intervallen wirkt und die Drucksteigerung nie einen hohen Grad erreichen kann.

§ 124. Die Thatsache, dass unter angenähert gleichen äußeren Bedingungen hinsichtlich der Nahearbeit immer nur ein gewisser Prozentsatz von Menschen kurzsichtig, sowie dass Myopie auch ohne Nahearbeit erworben wird, mussten zum Aufsuchen begünstigender Momente für die Entwicklung der Kurzsichtigkeit bei den Betroffenen sowie weiterer Entstehungsursachen für diese überhaupt führen. Die hier in Betracht kommenden Faktoren werden im allgemeinen unter der Bezeichnung »individuelle Disposition« zusammengefasst. Man hat viel Arbeit und Scharfsinn auf deren Ergründung verwendet, ohne dass man bis jetzt zu einer befriedigenden Lösung gekommen wäre. Die einen schreiben außerhalb des Auges gelegenen Teilen, dem Baue des Schädels, der Konfiguration der Orbita oder bestimmten Längenverhältnissen des Sehnerven einen wesentlich bestimmenden Einfluss auf die Formentwicklung des Auges zu, während andere solche begünstigende Momente in gewissen Verhältnissen des Auges selbst suchen.

Was die erstgenannte Anschauung angeht, so hat man schon früh die Schädelform mit der Entwicklung der Kurzsichtigkeit in Verbindung zu bringen versucht. Mannhardt nahm auf Grund theoretischer Erwägung an, dass eine Schädelform, welche eine große Drehpunktsdistanz der Augen bedinge, der Entwicklung von Kurzsichtigkeit günstig sein müsse, weil dann die Musculi recti externi bei der Convergenz (in welcher er mit v. Graefe

einen wichtigen Faktor für die Entstehung der Myopie sah), einen besonders starken Druck auf die Augen auszuüben vermöchten. Zahlreiche Messungen von Pupillendistanzen bei Myopie führten indes zu wenig übereinstimmenden Ergebnissen; im großen und ganzen lässt sich ein Zusammenhang zwischen Refraktion und Pupillendistanz nicht erkennen, sodass die Mannhardt'sche Ansicht heute wohl nur noch wenige Vertreter zählt.

Pflüger fand zwar, dass die Hypermetropen die schmalsten Schädel haben, doch seien die Unterschiede sehr gering und Pflüger selbst meint, dass dieses Moment bei der Myopieentstehung oft durch andere paralysiert werde. Schneller fand den mittleren Pupillenabstand bei Myopie = 61,45 mm, bei Emmetropie = 59,9 mm, bei Hypermetropie = 59,95 mm. Koppe und später Adamück schließen aus ihren Untersuchungen, dass der Augenabstand auf die Entwicklung der Myopie von Einfluss sei, während Horner und Mauthner zu völlig negativen Ergebnissen kamen. Auch Emmert, Beselin u. a. fanden bei sorgfältigen Messungen so geringe Differenzen, dass sie für die vorliegende Frage nicht in Betracht kommen können. Amadei und Bono konstatierten ein häufiges Zusammentreffen von Myopie und Dolichocephalie einerseits, von Hypermetropie und Brachycephalie andererseits. Erismann fand die Pupillendistanz bei Myopie um 0,2—0,3 mm größer, Bjeloff dagegen kleiner als bei Emmetropie. Seggel fand bei neueren Messungen die Drehpunktsdistanz vom 10.—12. Lebensjahre bei Myopen geringer als bei Emmetropen, vom 13.—17. Jahre gleich, vom 18. Jahre an größer. Doch sind auch hier die Unterschiede immer nur sehr gering.

§ 125. Die von Stilling aufgestellte Theorie über den Zusammenhang der Myopie mit dem Baue der Orbita hat zu lebhaften Diskussionen Anlass gegeben. Die »Arbeitsmyopie« entsteht nach Stilling durch Druck der äußeren Augenmuskeln. »Da die Richtung des Gesamtmuskeldruckes durch den Verlauf des Obliquus superior als des einzig Variabeln bestimmt wird, so hängt auch die Disposition zur Entstehung der Myopie davon ab, ob die Sehne dieses Mukels einen Druck auf die Oberfläche des Augapfels auszuüben imstande ist oder nicht. Im wesentlichen hängt dies von der Lage der Trochlea ab. Liegt diese niedrig, so verläuft auch die Obliquussehne in der Regel so, dass sie auf die Oberfläche des Bulbus einen Druck ausüben muss, welcher eine Vergrößerung des sagittalen Durchmessers bewirkt; liegt die Rolle dagegen hoch, so schließt sich die Sehne in der Regel an den Bulbus an, ohne seiner oberen Fläche anzuliegen, sie kann daher auch keinerlei Kompression ausüben.« . . . Die Höhe der Rolle selbst hängt von der Höhe der Orbita ab, sie kann zwar bei hoher Orbita tief und bei niedriger hoch liegen, allein in der Regel ist das umgekehrte der Fall.« Nach Stilling's Messungen sollen nun die Kurzsichtigen im allgemeinen eine breite und niedrige Orbita haben, während die Orbita der Emmetropischen und Hypermetropischen meist schmaler und höher sei. »Die Chamäconchie ist die Bedingung der Myopie, die Hypsiconchie die der

Hypermetropie, bezw. Emmetropie.« Da der Orbitalbau auch mit dem Schädelbau in gesetzmäßiger Weise zusammenhänge, so ergebe sich, dass Myopie im allgemeinen bei Breitgesichtigkeit (Chamäprosopie) vorkomme, dass aber Schmalgesichtigkeit (Leptoprosopie) zu Hyperopie disponiere.

Stilling drückt die Größenverhältnisse der Orbita aus durch den »Orbitalindex«, den er durch Division des Breitenwertes in den mit 100 multiplizierten Höhenwert erhält. Er findet bei Myopischen einen Durchschnittsindex von 77,8, bei Emmetropischen einen solchen von 89,1. Stilling und seine Schüler Cohen, Romano Catania, Krotoschin haben zahlreiche Messungen und anatomische Untersuchungen mitgeteilt, um zu zeigen, dass erstens wirklich der erwähnte Zusammenhang zwischen Refraktion und Orbitalform bestehe, und dass zweitens thatsächlich bei niedriger Orbita Kontraktion des Obliquus superior eine Kompression des Bulbus zur Folge habe, bei hoher Orbita dagegen eine solche im allgemeinen fehle.

Bei 100 zum Nachweise der letzteren Angabe vorgenommenen Orbitalsektionen fand Krotoschin 60 hohe Orbitae und unter diesen in 45 % Kompression, während sie in 55 % der Fälle fehlte. Er glaubt aber doch, dass diese Thatsache nicht gegen die Stilling'sche Hypothese spreche, da noch eine Reihe besonderer Gründe für die Kompression des Bulbus in seinen Fällen mit hoher Orbita nachgewiesen werden konnte, dass er also »zufällig auf viele Ausnahmen gestoßen sei«. Bei 40 niedrigen Orbitae fand er in 85 % Kompression des Bulbus durch den Obliquus superior. Jankowsky schließt aus Messungen an 549 Personen, dass Myopie, wenn nicht ausnahmslos, so doch in der großen Mehrzahl der Fälle bei Chamäconchie vorkomme, sodass Schädel- und Augenhöhlenbau unter den Momenten der erblichen Disposition den Hauptfaktor darstelle und man in beschränktem Sinne die Myopiefrage wohl mit Stilling als Rassenfrage bezeichnen könne. Ähnlich äußert sich Pflüger.

Eine Reihe von anderen Forschern, welche nach Stilling sich mit Orbitalmessungen beschäftigt haben (Baer, Schmidt-Rimpler, Seggel, Herrnheiser, Weiss) sind zu anderen Ergebnissen gekommen als jener. Fast alle finden den Orbitalindex der Kurzsichtigen nicht wesentlich verschieden von dem der Emmetropen. Weiss und Herrnheiser betonen besonders, dass man in Fällen von hochgradiger Anisometropie die nach Stilling zu vermutende Differenz in der Konfiguration der beiden Orbitae in der Regel nicht antreffe.

Schmidt-Rimpler fand bei 1300 von ihm Untersuchten einen Index von 94,4 für Emmetropie und Hypermetropie, einen solchen von 94,5 für Myopie. Zu ähnlichen Werten kam auch Weiss. Seggel findet bei Untersuchung von 1900 Augen in einer Serie für Myopen und Hypermetropen den gleichen Index von 84,5, in einer zweiten Serie für die Myopie 86,3, für die Hypermetropie 86,2. Die Orbitae jugendlicher Myopen findet er durchschnittlich 2 mm niedriger als die gleichalteriger Emmetropen, und 3 mm niedriger als die gleichalteriger Hypermetropen. Da diese Myopen vorzugsweise Knaben seien, die überhaupt niedrigere Orbitae hätten als die Mädchen, so komme schon darin

ein Abhängigkeitsverhältnis der Myopie vom Orbitalbaue zum Ausdrucke. Mit dem Wachstume ändere sich die Höhendifferenz der Orbita zwischen Myopen einerseits und Emmetropen und Hypermetropen andererseits in dem Sinne, dass bei den Erwachsenen durchschnittlich die Myopen die höchsten Orbitae, die Hypermetropen die niedrigsten haben. Seggel ist der Meinung, dass Myopie vorzugsweise durch Chamaeconchie vererbt werde, will aber den Zusammenhang nur so aufgefasst wissen, dass »niedere Orbita nur ein häufiges und insbesondere begünstigendes Moment für die Entstehung der Myopie in relativ jungen Jahren und als solches vorzugsweise vererbt« sei.

Kirchner endlich findet bei Messung von fast 3000 Gymnasiasten »auch bei Myopen die höchsten, bei Emmetropen die niedrigsten Orbitalindices«. Er stellt aber, in Übereinstimmung mit Seggel, fest, dass in der That eine niedrige Orbita bei Myopen öfter vorkomme als bei Emmetropen, nicht dagegen, dass sie bei jenen niedriger zu sein pflege als bei Hypermetropen. Mit Schmidt-Rimpler ist Kirchner der Meinung, dass die öfter gefundene Chamaeconchie nicht Ursache, sondern Folge der Myopie sein könne, indem die Obliqui bei ihrer Kontraktion einen Zug auf die obere und untere Orbitalwand auszuüben und beide einander zu nähern vermöchten.

Gegenüber diesen Angaben fand Stilling bei erneuten Messungen von ca. 4000 Augen seine früheren Befunde bezüglich des Zusammenhanges zwischen Myopie und Chamäconchie bestätigt.

Diese Zusammenstellung zeigt, dass hinsichtlich der thatsächlichen Grundlagen der Stilling'schen Theorie die Angaben verschiedener Forscher unvermittelt einander gegenüberstehen. Auch aus den Befunden derjenigen Forscher, die mit Stilling dem Orbitalbau einen Einfluss auf die Myopieentstehung einräumen, geht hervor, dass jedenfalls in einer sehr großen Zahl der Fälle die im Orbitalbau gegebenen, der Myopieentwicklung etwa günstigen Momente durch andere, schwer zu übersehende Umstände wesentlich modifiziert oder in ihrer Wirkung ganz ausgeschaltet werden. Ich möchte es dahingestellt sein lassen, ob nach den vorliegenden Thatsachen dem Orbitalbau ein irgendwie bestimmender Einfluss auf die Myopieentwicklung zuzuschreiben und die Myopie als »Rassekrankheit« aufzufassen ist. In ganz anderer Weise als Stilling denkt sich Février (1896)[1] einen Einfluss der schiefen Augenmuskeln auf die Entstehung der Myopie: Er meint, es könnten sich während des Wachstums die vertikalen Netzhautmeridiane unsymmetrisch stellen; die schiefen Muskeln suchten sie parallel zu stellen und zögen dabei die Augen nach vorn, wodurch Verlängerung und Protrusion entstände.

§ 126. Einen weiteren Versuch, die Disposition zur Myopie aus topographischen Verhältnissen außerhalb des Bulbus gelegener Teile zu erklären, stellt die Hasner-Weiss'sche Sehnervenzerrungshypothese dar: Hasner hatte die Ansicht aufgestellt, dass der myopische Conus eine Zerrungserscheinung sei, die zustande komme, wenn der Sehnervenstamm absolut oder relativ zu kurz sei. Denn dann müsse schon bei kleinen Winkelexkursionen des Auges, bei geringen Convergenzbewegungen die Sclera am hinteren Pole

und zwar auf der Außenseite des Sehnerven gezerrt werden, woraus sich das gewöhnliche Auftreten des Conus an der temporalen Seite des Sehnervenrandes erkläre. (Hasner hegte noch die irrige Meinung, dass der Conus einer umschriebenen Ausbuchtung der Bulbushüllen an der temporalen Sehnervenseite entspreche. Eine ähnliche Auffassung wie Hasner hat (nach Ascher) früher schon Passavant entwickelt.) Diese Hypothese, der auch Emmert und Paulsen zuneigten, wurde von Weiss auf Grund zahlreicher Messungen weiter entwickelt. Er bezeichnet als »Abrollungsstück« die Differenz zwischen der Länge des Sehnerven und dem Abstande vom Foramen opticum zur hinteren Sclerafläche. Die Größe dieses Abrollungsstückes unterliege großen Schwankungen: es wurde in einer Gruppe von Fällen größer als 7 mm, in einer anderen kleiner als 5,5 mm, im Durchschnitte bei letzterer = 4,46 mm gefunden. Da Weiss nun in dieser Gruppe bei Drehung des Auges nach innen unten häufig Zerrungserscheinungen nachweisen konnte, nicht aber bei der ersten Gruppe, so glaubte er einen Zusammenhang zwischen Länge des Abrollungsstückes und Zerrung am Sehnerven annehmen zu dürfen. Weiter nahm er an, dass diese Zerrung Veränderungen an der Papille zur Folge haben könne: durch häufig sich wiederholende Zerrungen am hinteren Bulbusabschnitte verliere das Gewebe daselbst allmählich an Widerstandsfähigkeit; die Veränderungen, welche man an der Eintrittsstelle des Sehnerven findet, sollten zum Teile in der That auf stattgehabte Zerrungen hinweisen, »welche den Boden für die Ektasierung vorbereiten«. Relative Kürze des Sehnerven müsse leichter zu Zerrungen führen und damit zur Entstehung von Myopie disponieren. Gegen die thatsächlichen Angaben von Weiss wendet sich Stilling mit dem Hinweise darauf, dass er bei 200 Sektionen einen abnorm kurzen Sehnerven nur »äußerst selten« gefunden habe, und zwar gerade bei sonst normalen Augen. Ferner habe er durch Leichenversuche sich überzeugt, dass Zerrungserscheinungen am Umfange des Sehnerven mit seiner Länge gar nichts zu thun haben. Man sehe Zerrungen bei den größten Abrollungsstrecken, während sie andererseits bei den kleinsten fehlen können. Schnabel erhebt gegen die fragliche Auffassung den Einwand, dass die von Weiss angenommene Sehnervenzerrung den anatomischen Befund, wie er von Weiss selbst in zutreffender Weise geschildert wurde (s. u.), nicht zu erklären vermöge. Weiterhin scheint es mir auch schwer vorstellbar, wie die Zerrung des Sehnerven an seiner Eintrittsstelle die oft hochgradige, nicht selten sehr gleichmäßige Dehnung des *gesamten* hinteren Bulbusabschnittes hervorzurufen imstande sein soll, die wir oft bis nahe an den Äquator bulbi hin verfolgen können.

§ 127. Die bisher besprochenen Versuche, die Dehnung des hinteren Augenabschnittes mit der Anordnung der umgebenden Teile ursächlich in

Zusammenhang zu bringen, haben somit alle zu wenig befriedigenden und überzeugenden Ergebnissen geführt. Wir wenden uns jenen Anschauungen zu, welche die Entstehung der Kurzsichtigkeit aus bestimmten im Auge selbst gegebenen Bedingungen zu erklären suchen.

Eine Dehnung des hinteren Abschnittes des Auges wird um so leichter erfolgen können, je dünner und weicher von Geburt die entsprechenden Scleralpartien sind, und es ist wohl denkbar, dass in dieser Beziehung von vornherein größere individuelle Verschiedenheiten vorkommen, ebenso, dass eine solche abnorme Nachgiebigkeit der Sclera sich leicht vererben kann. Die Bedeutung des erblichen Momentes für die Entstehung der Myopie, die von allen zuverlässigen Forschern anerkannt wird, findet so ihre Erklärung. Dagegen entspricht die mehrfach geäußerte Meinung, es könne eine von einem gesunden Augenpaare durch Nahearbeit erworbene Myopie sich »als Disposition« vererben, wenig unseren heutigen biologischen Anschauungen.

Mauthner giebt der oben angedeuteten Auffassung mit den folgenden Worten Ausdruck: »Die angeborene Anlage zur Myopie ist in nichts anderem zu suchen, als in einer zu geringen Festigkeit der Sclerotica, namentlich in deren hinterer Hälfte«. Unter den neueren Forschern, die in dieser angeborenen Verminderung des Widerstandes der Sclera das wichtigste ursächliche Moment für die Myopie sehen, sind vorzüglich Schnabel und Herrnheiser zu nennen, welche diese Auffassung auch anatomisch zu begründen versucht haben. Nach ihnen besteht »in allen myopischen Augen, sowohl in denen, welche sich durch ihre Gestalt von den emmetropischen nicht unterscheiden (s. u.), wie in denen, die durch ein Staphyloma posticum« ausgezeichnet sind, ein angeborener Bildungsmangel in den äußeren Augenhäuten«. Dieser habe in allen Augen denselben Sitz in der unmittelbaren Umgebung des Opticus, sei immer von derselben Art, aber von sehr verschiedener Intensität. Die Abnormität gebe sich ausnahmsweise nur im Bereiche der Chorioidea durch den sichelförmigen Conus oder nur im Bereiche der Sclera durch ungewöhnliche Weichheit um den Opticus, in der Regel aber in beiden äußeren Augenhäuten durch abnorme Weite des Scleroticochorioidealkanales, bezw. ringförmigen Conus, oder durch sichelförmigen Conus und abnorme Weichheit der Sclera um den Opticus, durch Fehlen oder schwächliche Ausbildung der äußeren Sclerallagen und abnorme Insertion der Duralscheide zu erkennen.

Eine Stütze für ihre Annahme sehen Schnabel und Herrnheiser darin, dass die Resistenz der Sclera »in allen von ihnen untersuchten myopischen Augen, auch in jenen mit geringer Myopie, vermindert war«. Zum Belege führen sie folgende Beobachtung an: »Legt man ein frisches emmetropisches Auge, an dem man ein Sehnervenstück von etwa 1 cm Länge gelassen hat, so vor sich hin, dass es auf der Hornhaut ruht, so erhält sich die Wölbung der Sclera um den Sehnerven unverändert und der Sehnerv steht gerade in die Höhe. Behandelt man in gleicher Weise ein myopisches Auge von der

Form des emmetropischen, so sieht man die Sclera entweder im ganzen Umkreise des Opticus oder nur lateral oder lateral unten von ihm grubenförmig einsinken und den Opticus auf die Augapfeloberfläche niedersinken.« Fast mit denselben Worten hatte Weiss ein Jahr vorher den makroskopischen Befund an einem Auge mit mittlerer Myopie geschildert: Die Sclera sank, bei analogem Versuche, am hinteren Pole in Form eines Ovals von ca. 17×12,5 mm ein. Der Sehnerv inserierte auf der nasalen Hälfte des Ovals.

Die beiden erstgenannten Autoren betrachten nun diese verminderte Resistenz der Sclera als das Primäre, die Myopie bedingende: »Die mangelhafte Entwicklung der Sclera wird in den myopischen Augen mit der Form des emmetropischen durch die abnorme Weichheit der Sclera um den Opticus . . . bezeugt« . . . »Es ist nicht gestattet, vorauszusetzen, dass die Sclera der mit Staphyloma posticum behafteten myopischen Augen jemals vollständig normal gewesen sei.« Der rudimentäre Zustand der äußeren Sclerallagen in der Umgebung des Opticus und die damit zusammenhängende Anomalie in der Form des vordersten Teiles des Zwischenscheidenraumes sei der Beweis für die mangelhafte Entwicklung der Sclera. Demgegenüber fassen viele Forscher die Dünnheit der Sclera kurzsichtiger Augen als Folge der Dehnung, als etwas Sekundäres, auf. (Es scheint mir sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, im einzelnen Falle zu entscheiden, ob die anatomisch nachgewiesene Verdünnung der Sclera Ursache oder Folge der Dehnung ist.

§ 128. Ob neben den bisher besprochenen angeborenen Bedingungen zur Entstehung von Kurzsichtigkeit auch erworbene Störungen in Betracht kommen, die durch Verminderung der Resistenz der Sclera zu Kurzsichtigkeit führen können, ist noch nicht mit Sicherheit entschieden. v. Graefe hatte ursprünglich die Meinung, dass eine Scleroticochorioiditis zu einer Erweichung der betreffenden Teile Anlass geben könne. Er modifizierte aber seine Ansicht wesentlich, nachdem er bei der anatomischen Untersuchung kurzsichtiger Augen keinerlei entzündliche Prozesse gefunden hatte. Seine frühere Ansicht wird heute noch von einigen Augenärzten vertreten.

So nimmt Knies (auch Tscherning und Nordenson) für gewisse Formen der Kurzsichtigkeit an, dass Chorioiditis sie bedingen könne. Ferri bezog (1887, 1896) die Kurzsichtigkeit in einigen Fällen, wo sie sich bei älteren, bis dahin normalsichtig gewesenen Patienten in kurzer Zeit entwickelte, auf vorausgegangene Entzündung, die zu Kongestion mit nachfolgender Erweichung am hinteren Pole führte. Historisch interessant ist, dass schon Boerhave angiebt, die allzugroße Länge des myopischen Bulbus könne von Geburt an bestehen oder durch Entzündung bedingt sein. Seggel nimmt wohl das Vorkommen einer Sclero-chorioiditis posterior in kurzsichtigen Augen an, aber nicht als Ursache, sondern als Folge der Dehnung. Diese Entzündung soll die bei hochgradiger Myopie beobachtete Herabsetzung der Sehschärfe und des Lichtsinnes erklären.

Die Annahme, dass angestrengtes Sehen eine physiologische Hyperämie der Maculagegend herbeiführe, ist durch thatsächliche Beobachtungen bisher

nicht gestützt und an sich wenig wahrscheinlich. Neuerdings hat Schön (1899) die Meinung ausgesprochen, dass Scleritis in nahen Beziehungen zur Kurzsichtigkeit, insbesondere zu deren deletären Formen stehe; hauptsächlich stützt er sich darauf, dass man bei Scleritis stets Aderhautherde finde, und meint, man dürfe wohl auch umgekehrt schließen, das Chorioiditis postica mit Scleritis verbunden sein werde. Als deutliches Zeichen davon finde man »an allen Augen mit hochgradiger Myopie Verwachsung der Aderhaut und Sclera«. Endlich hat auch Pr. Smith (1901) entzündlichen Vorgängen große Bedeutung insbesondere bei den perniciösen Formen der Kurzsichtigkeit zugeschrieben; rasche Entwicklung der Myopie komme in Zusammenhang mit ausgesprochener Chorioiditis vor; so scheine bei syphilitischer Chorioiditis diese das Primäre zu sein, die Sclera gebe infolgedessen nach.

Gegenüber diesen Angaben über Sclero-chorioiditis bei hochgradiger Myopie ist zu betonen, dass die mikroskopische Untersuchung kurzsichtiger Augen bisher in unkomplizierten Fällen keine sichere Anzeichen entzündlicher Vorgänge in der Sclera oder Chorioidea ergeben hat. An den von Heine in meinem Laboratorium untersuchten, hochgradig kurzsichtigen Augen waren wohl beträchtliche Veränderungen in der Netzhaut und dem Pigmentepithel zu sehen. Aber die fast allenthalben sichtbare Lamina vitrea trennte die erkrankte Netzhaut von einer (bis auf starke Verdünnung) durchaus normal aussehenden Chorioidea und Sclera. Wenn nun auch eingewendet werden kann, dass bei den zur mikroskopischen Untersuchung gelangten Augen es in der Regel sich um längst abgelaufene entzündliche Prozesse handeln dürfte, so wäre es auffällig, dass diese Entzündungen abgelaufen wären, ohne irgendwelche histologisch nachweisbare Spuren in Chorioidea und Sclera zurückgelassen zu haben. Immerhin ist die Zahl der bisher genügend untersuchten hochgradig myopischen Augen zu klein, um ein endgiltiges Urteil in dieser Frage zu fällen. (Vgl. auch § 135.)

§ 129. Endlich möge noch eine Reihe von anderen Momenten aufgeführt werden, die mit der Achsenmyopie in Beziehung gebracht worden sind, ohne dass über die Art des Zusammenhanges Genaueres zu ermitteln wäre. Sie sind für die Frage nach der Entstehung der Kurzsichtigkeit von geringerem Interesse. Horner und Stilling haben gleichzeitig darauf hingewiesen, dass die deletäre Form der hochgradigen Kurzsichtigkeit sich auffallend häufig bei schlecht genährten, anämischen Individuen finde, und Stilling verglich diese Form mit der passiven Herzerweiterung der Chlorotischen.

Ferner legt Stilling der Inzucht wesentliche Bedeutung für die Genese der Myopie in ihrer deletären Form bei. Dabei stützt er sich indes vorwiegend auf gelegentliche Beobachtungen. Statistische Untersuchungen hierüber wurden später

mitgeteilt von Velhagen, der unter 50 Patienten, bei welchen der Fernpunkt an einem Auge in einem Abstande von 14 cm oder weniger lag, nur einen fand, wo die Myopie auf Inzucht bezogen werden konnte. Doch betrifft die Velhagen'sche Statistik alle Fälle von hochgradiger Myopie, während Stilling nur die wirklich deletären (d. h. mit ernsteren Komplikationen verbundenen) als mit der Inzucht in ätiologischem Zusammenhange stehend aufgefasst wissen will. Eine hierauf bezügliche Statistik hat Wolff mitgeteilt. Er bezeichnet als deletäre jene Myopien von mehr als 9 D., bei welchen die Sehschärfe sehr herabgesetzt und neben Staphyloma posticum auch pathologische Hintergrundsveränderungen nachweisbar waren. Er betont aber selbst die Schwierigkeit, eine genügend scharfe Grenze zwischen deletären und nicht deletären Myopieformen zu ziehen. Unter 126 Fällen von »deletärer« Myopie fand er $8\frac{3}{4}\%$, bei welchen die Consanguinität als ätiologisches Moment in Betracht kam. Wolff schließt aus diesem hohen Prozentsatze, dass die deletäre Myopie »zu denjenigen krankhaften Organveränderungen zu rechnen sei, welche an Individuen zum Vorschein kommen können, die aus Verwandtenehen stammen«; sie sei manchmal ein Produkt der Inzucht. Otto konnte bei dem reichhaltigen, von ihm darauf untersuchten Material der Leipziger Klinik keine Anhaltspunkte für eine schädliche Wirkung der Verwandtenehen finden.

Weiter möge der Einfluss des Geschlechtes auf die hohen Myopiegrade kurz erwähnt sein. Dass die höchsten Grade der Kurzsichtigkeit bei Frauen häufiger seien als bei Männern, wurde zuerst von Schleich und von Horstmann angegeben. Auch Tscherning fand diese Angabe bestätigt. Schweizer sah bei deletärer Myopie Maculaerkrankungen bei Frauen doppelt so häufig als bei Männern. Proskauer findet bei Myopie von 9 Dioptrien und mehr in den niederen Ständen das männliche Geschlecht mit 10%, das weibliche mit 14% vertreten, während in den Berufsklassen mit vorwiegender Nahearbeit die Männer zahlreicher vertreten seien als die Frauen. Leininberg sah gleichfalls einen hohen Prozentsatz von Kurzsichtigkeit beim weiblichen Geschlechte, obschon sowohl die absolute als die relative Zahl der weiblichen Myopen bedeutend kleiner sei, als die der männlichen. Widmark findet unter seinen poliklinischen Kranken bei Myopie bis zu 4 Dioptrien die Zahl der Männer viel größer als die der Frauen; schon bei 5 Dioptrien sei die Zahl der kurzsichtigen Frauen größer, noch viel mehr bei den höheren Myopiegraden. Auch seine Schuluntersuchungen ergaben eine größere Neigung zu Myopie bei den Mädchen als bei den Knaben. Ähnliches hatte früher Pflüger in der Schweiz und Bjerrum für Dänemark gefunden. Knöpfler zieht aus seinen Myopiestatistiken für die niederen Klassen den Schluss, dass hier die Schulzeit keinen wesentlichen Einfluss auf die Myopie habe, da diese sich erst später, nach der Pubertätszeit, entwickle, besonders häufig bei den Frauen wegen der angestrengten Nahearbeit, welche diesen in den niederen Klassen besonders obliege. (Eine Statistik über die Zahl der wegen hochgradiger Myopie Operierten [Entfernung der Linse] könnte über diese Frage vielleicht weiteren Aufschluss geben.)

Bezüglich des Einflusses der Rasse möge hier nur die Angabe von Nicati Platz finden, dass in den Marseiller jüdischen Schulen mehr Kurzsichtige gefunden wurden, als in den christlichen; die meisten Augenärzte nehmen im Gegenteil an, dass bei den Juden mehr Hypermetropie vorkomme, als bei den Christen.

§ 130. Bei den bisherigen Erörterungen war zumeist von Kurzsichtigkeit schlechtweg die Rede, entsprechend der insbesondere durch Donders und Arlt zu allgemeiner Geltung gekommenen Annahme, dass Myopie überhaupt auf einer abnormen, durch Dehnung des hinteren Abschnittes bedingten Achsenverlängerung des Auges beruhe und dass die verschiedenen von Donders aufgestellten Kategorien der Myopie nur verschiedene Grade eines und desselben Leidens seien. Wiederholt ist vorzüglich in den letzten 15 Jahren der Versuch gemacht worden, zwei oder mehrere Arten von Myopie zu unterscheiden, die voneinander wesentlich verschieden sein und nur das eine Merkmal gemein haben sollen, dass der Fernpunkt in endlicher Entfernung vor dem Auge liegt.

Aus der lange bekannten Thatsache, dass der Hornhautradius bei verschiedenen emmetropischen Augen innerhalb gewisser, nicht einmal sehr enger Grenzen (7—8,5 mm) variiert, folgt, dass auch die Achsenlänge verschiedener emmetropischer Augen verschieden groß sein muss. Mauthner zeigte, dass sie mindestens zwischen einer Größe von 22,25 und 26,24 mm variieren müsse, was mit den später von Schnabel und Herrnheiser an enucleierten Augen ermittelten Zahlen gut übereinstimmt. Diese fanden bei 23, während des Lebens als emmetropisch ermittelten Augen Achsenlängen von 22—25 mm. Noch weitere Grenzen hat neuerlich Sulzer angenommen (s. u.).

Emmetropische Refraktion kann, wie wir sahen, nur bestehen, wenn Hornhautradius und Achsenlänge zu einander im richtigen Verhältnisse stehen. Anderenfalls muss Myopie oder Hypermetropie auftreten, ohne dass Hornhautradius oder Achsenlänge andere als die sonst bei emmetropischen Augen gefundenen Werte annehmen. Wenn ein kleiner Radius mit einer kurzen Augenachse, oder ein großer mit einer langen Achse zusammentreffen (die Begriffe »klein« und »groß« immer innerhalb der physiologischen Grenzen bleibend angenommen), so können die betreffenden Augen emmetropisch sein. Trifft aber der gleiche kurze Radius mit einer relativ langen Augenachse zusammen, so muss das Auge kurzsichtig sein. Dass die so entstehenden Ametropiegrade eine nicht unbeträchtliche Höhe erreichen können, wird begreiflich, wenn wir uns erinnern, dass bei gleichbleibender Achsenlänge der Änderung des Hornhautradius um einen Millimeter eine Refraktionsänderung von fast 6 Dioptrien entspricht. In ähnlichem Sinne, wie zuerst Mauthner, haben sich später Landolt,

Tscherning, Stilling, Schnabel und Herrnheiser u. a. geäußert. Beim Verfolgen dieses Gedankens kam nun Mauthner zu dem Ergebnisse, dass »solche Augen wunderbarerweise gar nicht vorzukommen scheinen«. Er konnte aus seinen Untersuchungen nicht die Überzeugung gewinnen, dass Myopie auf einem einfachen Missverhältnis zwischen der Brennweite des dioptrischen Systems und der Achsenlänge begründet sein könne. Unter anderem schließt er dies daraus, dass hochgradig kurzsichtige Augen mit Achsenlängen, die noch bei Emmetropie vorkommen, fast immer auffallend herabgesetzte Sehschärfe hätten. Auch da, wo dies nicht der Fall war, konnte nachgewiesen werden, dass es sich nicht um das erwähnte Missverhältnis normaler Bildungen handelte, da man oft mit dem Augenspiegel die Zeichen der Dehnung des hinteren Abschnittes nachweisen konnte.

1879 bezeichnete Landolt als erste der von ihm aufgestellten Formen der Kurzsichtigkeit eine »Myopie in einem völlig gesunden Auge«, die im wesentlichen der eben erörterten Form entspricht. Im Anschlusse an Landolt entwickelte auch Tscherning die Meinung, dass eine gewisse Gruppe von Myopien, insonderheit die niederen Grade, auf einem zufälligen Nichtübereinstimmen zwischen der Brennweite der brechenden Medien und der Länge der Augenachse in sonst normalen Augen beruhe. Gegen diese Auffassung wendete sich später Stilling, indem er, wie früher Mauthner, auf Grund ophthalmometrischer Messungen angab, dass er gerade bei niedrigen Myopiegraden durchschnittlich große Hornhautradien gefunden habe. Nach ihm fallen die »physiologische« und die »Arbeitsmyopie« vollständig in eine zusammen. Der Grad der Myopie hänge allerdings mit von der ursprünglichen Hornhautkrümmung ab: Ein Auge mit Myopie = 6 Dioptrien und einem Hornhautradius von 7,6 mm kann gleichwertig sein einem Auge mit Myopie = 1,5 Dioptrien und einem Hornhautradius von 8,5 mm. (Die Thatsache, dass man den Grad der Myopie nicht allein aus der Achsenlänge bestimmen kann, ist nach dem Früheren unmittelbar verständlich, denn mit der Möglichkeit gleicher individueller Differenzen, wie beim emmetropischen Auge müssen wir auch bei dem achsenmyopischen Auge rechnen.)

§ 131. Von nicht minder großem prinzipiellem und praktischem Interesse ist die Frage, ob zwischen mittleren und hohen Graden von Kurzsichtigkeit ein Artunterschied anzunehmen sei. Tscherning meint, dass die Annahme eines bloß graduellen Unterschiedes zwischen beiden Formen nicht aufrecht erhalten werden könne. Er nimmt zunächst eine funktionelle Myopie an, die durch Nahearbeit hervorgerufen werde, ohne einen krankhaften Zustand des Auges zu bedingen. Diese gutartige Form soll die mittleren Grade der Myopie mit einer Durchschnittsrefraktion von 3 Dioptrien umfassen und ihre obere Grenze bei 9 Dioptrien erreichen. Komplikationen

seien dabei, abgesehen vom Staphylom, selten. Bei dieser Gruppe hält Tscherning den Einfluss der Erblichkeit nicht für ausgeschlossen. Seggel glaubt, dass ein bei gesunden Eltern auftretender Akkommodationsspasmus die »Disposition zu Myopie« hervorrufe, die sich bei den späteren Generationen zur Achsenmyopie entwickle. Nach dieser Auffassung müssten immer mehr Individuen erblich belastet und die Zahl der Kurzsichtigen ständig größer werden. Seggel nimmt dies in der That auch an. Doch haben verschiedene, von Becker u. a. aufgestellte Statistiken eine Zunahme der Kurzsichtigkeit in den letzten 3—4 Dezennien nicht erkennen lassen.

Für die höheren Myopiegrade, d. s. die, welche bei Patienten von 20 Jahren 9 Dioptrien und mehr betragen, nimmt Tscherning einen absoluten ätiologischen Unterschied an, der sie von den mittleren Myopiegraden trenne. Nur diese höheren Grade seien mit gefährlichen Komplikationen verknüpft und stellten eine wirkliche Krankheit dar, die er in Anlehnung an die alte v. Graefe'sche Ansicht auf eine »insidiöse Chorioiditis« zurückführt. In der Scheidung der beiden Formen geht Tscherning so weit, dass er sogar die Möglichkeit bestreitet, dass bei vorher bestehender krankhafter Disposition Nahearbeit die Entwicklung der deletären Myopie begünstigen könne. Unter den Argumenten für die von ihm geforderte Sonderstellung der höchsten Myopiegrade führt Tscherning das Ergebnis seiner statistischen Untersuchungen an, wonach diese an sich verhältnismäßig seltene und nur 1 % der Bevölkerung ausmachende Myopieform bei der Landbevölkerung und den niederen Klassen, sowie bei Frauen etwas häufiger vorkomme, als bei den mit Nahearbeit Beschäftigten und bei Männern. Schon 1861 hatte Jäger geschrieben: »In jenen Schichten der Bevölkerung, welche im Durchschnitt nicht gewöhnt ist, ihre Augen durch Akkommodationsanstrengungen zu ermüden, kommen mindestens ebensoviele, ja noch mehr Individuen vor, welche infolge von Achsenverlängerung der Bulbi kurzsichtig sind, als in den übrigen Schichten der Bevölkerung«. Auch Schleich teilte mit, dass über die Hälfte der sehr hohen Myopiegrade von der Landbevölkerung gestellt werde.

Den Angaben, dass Kurzsichtigkeit von mehr als 10 Dioptrien bei der Landbevölkerung häufiger sei, als bei den gebildeten Klassen, widersprechen u. a. Priestley Smith, Widmark und Proskauer. Nach Widmark kamen unter 4000 Privatpatienten 1,73 % mit Myopie von mehr als 10 Dioptrien vor, unter 10000 poliklinischen dagegen nur 0,43 %. Proskauer findet die höheren Myopiegrade in den gelehrten Ständen und den mit feiner Arbeit beschäftigten Berufszweigen nahezu doppelt so stark vertreten, als in den niederen Klassen.

Ähnlich wie Tscherning trennt auch Stilling die hohen Grade der Kurzsichtigkeit in zwei wesentlich voneinander verschiedene Gruppen. Die eine umfasse die Augen mit sogenannter Arbeitsmyopie. Sie trete in völlig

gesunden Augen auf und sei als ein »Längenwachstum unter Muskeldruck« aufzufassen. Die zweite sei die »deletäre« Form der Myopie, trete in bereits krankhaft veränderten Augen als Folge vorhandener hydropischer Entartung auf, der ganze Vorgang sei als ein glaucomatöser aufzufassen; nur in dieser Gruppe fänden sich die ernsten Komplikationen, Übergänge zwischen beiden Formen kämen nicht vor. Stilling's Versuch, den myopischen Prozess als einen glaucomatösen aufzufassen, ist auf lebhaften Widerspruch gestoßen; die anatomischen Verhältnisse des kurzsichtigen Auges sind in der Regel andere, als wir sie in jugendlich glaucomatösen Augen finden.

§ 132. Wieder einen anderen Standpunkt vertreten Schnabel und Herrnheiser. Im Gegensatze zu Stilling und Tscherning, die eine Trennung der mittleren und höheren Myopiegrade fordern, betonen sie die ätiologische Einheit des myopischen Prozesses: »Vom ätiologischen Standpunkte giebt es nur eine Form der typischen Myopie, jede entsteht durch eine Wachstumsanomalie des Auges. Je nach der Ausprägung des Bildungsfehlers in den äußeren Augenhäuten führt die Wachstumsanomalie eine relativ zu große Länge des Auges oder Staphyloma posticum herbei. . . . Die anatomische Ursache beider Anomalien ist eine und dieselbe, und nur dem Grade nach verschieden.« Andererseits aber betonen sie, dass zwischen der Form der Augen mit mittlerer und jener mit höherer Myopie ein Artunterschied bestehe. Die Mehrzahl der Augen mit Myopie von 2 bis 8 Dioptrien habe dieselbe Form und dasselbe Volum, wie die emmetropischen Augen. Das Staphylom sei »selbstverständlich nicht als ein höherer Grad der Anomalie zu bezeichnen, welche in den Augen mit niedriger und mittlerer Myopie besteht. Diese böten also nur das Aussehen großer emmetropischer Augen, seien frei von jeder Formanomalie, während die Augen mit mindestens 10 Dioptrien Myopie sich wesentlich durch Volumen und Form von emmetropischen Augen unterschieden; gemeinsam sei beiden die verminderte Resistenz der Sclera; ein Übergang aus der einen in die andere Form komme nicht vor. Insbesondere wird hervorgehoben, dass die Entstehung des Staphyloma posticum nicht verhütet werden könne, die Schulmyopie aber nicht verhütet zu werden brauche, weil sie ohnehin nicht in höhere Grade der Myopie übergehe. Diese Forscher schlagen somit das schädigende Moment der Nahearbeit gegenüber der angeborenen Disposition viel geringer an, als die Mehrzahl der Fachgenossen.

Gegen die Ansicht Tscherning's und Stilling's, dass die mittleren und die höheren Grade der Kurzsichtigkeit zwei voneinander völlig verschiedene Krankheitsprozesse darstellen sollen, haben sich insbesondere Horner, Nordenson, Otto, Schneller, Pflüger, Seggel, in der letzten Zeit sehr nachdrücklich Priestley Smith u. a. gewendet.

Nach Horner liegt die Grenze für die mit schwereren Komplikationen einhergehenden Myopien nicht bei 9, sondern bei 6 Dioptrien und jede höhere Myopie kann nach ihm zu einer solchen Komplikation führen. Auch Nordenson tritt der Ansicht von der relativen Harmlosigkeit der sogenannten Arbeitsmyopie entgegen und betont, dass man in der Praxis Gelegenheit habe, Fälle der gewöhnlichen Arbeitsmyopie zu sehen, welche bei einem Individuum von 25 Jahren nicht 8 Dioptrien übersteige, also anscheinend reine Arbeitsmyopie sei; trotzdem trete auch in solchen Fällen Netzhautablösung ein. Die Frage, wie viele von den Schülern bei Fortsetzung ihrer Studien in späteren Jahren wirklich schwere Augenleiden bekommen, sei noch offen.

Otto hebt unter Hinweis auf die Schnabel-Herrnheiser'schen Messungen, wie mir scheint, mit Recht hervor, dass jede typische Kurzsichtigkeit lediglich Folge der Achsenverlängerung sei, was bei Myopien über 10 D. auffällig hervortrete, aber auch bei den niedrigeren Graden unzweifelhaft nachgewiesen werden könne. Dem entspreche im allgemeinen das ophthalmoskopische Bild. »Wenn wir in den niedrigsten Graden der Myopie zuweilen gar keine auf Dehnung deutende Zeichen und öfter als einzigen vom Normalen abweichenden Befund nur den Conus finden, so kann uns in den ersteren Fällen das Fehlen solcher Zeichen bei den geringeren Myopiegraden nicht wundern, weil eben den Augenhäuten vermöge der ihnen innewohnenden Elasticität eine Anpassungsfähigkeit an geringgradige Veränderungen nicht abgesprochen werden kann.« . . . »Es zeigt sich ein ganz kontinuierlicher Zusammenhang zwischen den ophthalmoskopisch sichtbaren Veränderungen am Augenhintergrunde geringgradig und höchstgradig kurzsichtiger Augen, welcher ausgedrückt wird durch das allen Fällen gemeinsame Moment der Dehnung der Augenhäute. Folgerichtig müssen wir auch die gesamte Myopie als ein einheitliches Leiden ansprechen, das nur graduelle Unterschiede zeigt.«

Auch Seggel zieht aus seinen langjährigen Schuluntersuchungen den Schluss, dass es eine aus der einfachen Schulmyopie sich entwickelnde progressive hochgradige Myopie gebe. Gerade diese Übergangsformen zeigten, dass die Schulmyopie nicht als ein harmloser Prozess aufgefasst werden dürfe. Ebenso giebt Priestley Smith der Meinung Ausdruck, dass auch die einfache, mäßige Myopie die Gefahr progressiver Verschlimmerung in sich trage. Sie könne in jedem Alter noch progressiv werden, auch noch nach vollendetem Körperwachstum.

Nach dem bisher vorliegenden Materiale scheint mir die Annahme eines Artunterschiedes zwischen den niederen und den höheren Graden von Kurzsichtigkeit nicht genügend begründet.

Es ist verwunderlich, wie viel man über die Frage diskutiert hat, ob die Arbeitsmyopie als eine »zweckmäßige Anpassung« im teleologischen Sinne aufgefasst werden könne. Ein solche Auffassung wurde von verschiedenen hervorragenden Gelehrten vertreten; es ist aber nicht recht verständlich, worin diese Anpassung liegen soll. Dass ein jugendlicher Emmetropischer besser daran ist, als ein jugendlicher Myopischer von 3 oder 4 Dioptrien,

ist doch zweifellos; denn die Muskelarbeit, die er zu einer Akkommodationsleistung von 3 bis 4 Dioptrien bei seiner Nahearbeit nötig hat, ist so gering, dass alle normalen Emmetropischen sie während der ersten 45 Jahre ihres Lebens ohne die geringste Beschwerde leisten. Eine Ersparung dieser Muskelarbeit ist unnötig und von zweckmäßiger Anpassung kann nicht die Rede sein, da diese Myopie auf der einen Seite keinen Vorteil, auf der anderen aber, beim Fernsehen, recht große Nachteile bringt. Jenseits des 45. Jahres, wenn also fast zwei Drittteile des Lebens vorüber sind, kann für eine Reihe von Berufsarten eine leichte Kurzsichtigkeit angenehm oder zweckmäßig sein. Wenn sie jetzt sich entwickelte, so hätte es wohl einen Sinn, von zweckmäßiger Anpassung zu reden, weil dann wenigstens in einer Richtung der kurzsichtig Werdende etwas gewänne. Aber in diesem Alter entwickelt sich die Achsenmyopie nicht mehr.

§ 133. Was die Form des kurzsichtigen Augapfels angeht, so ist in der großen Mehrzahl der Fälle der hinter dem Äquator gelegene Abschnitt stark gedehnt, die Sclera hochgradig verdünnt. Fig. 84 zeigt die Querschnitte durch die beiden Augen einer und derselben Person (nach Heine); das eine war emmetropisch, das zweite hatte eine Myopie von 15 Dioptrien. Die vorderen Abschnitte sind auf beiden Augen angenähert gleich, der hintere Abschnitt des kurzsichtigen Auges zeigt eine ungleichmäßige, in der Foveagegend am meisten ausgesprochene Dehnung mit starker Verdünnung der Sclera und Chorioidea. In anderen kurzsichtigen Augen findet man eine mehr gleichmäßige Dehnung, sodass die Form weniger von der normalen abweicht, das Auge vielmehr angenähert gleichmäßig vergrößert scheint.

Fig. 84.



Baas hat Messungen der Dicke der Sclera an einer Reihe von kurzsichtigen Augen vorgenommen und mit den von Dürr und Schlechtendal an jugendlich glaucomatösen Augen erhaltenen Zahlen verglichen: Bei letzteren war die gesamte Sclera gleichmäßig verdünnt, in den kurzsichtigen Augen waren es dagegen nur die hinteren Abschnitte; in 8 derartigen Fällen betrug die Dicke der Sclera am hinteren Pole nur $1/3$—$1/4$ der normalen. Eine Bestätigung dieser Baas'schen Angaben brachten spätere Messungen von Marschke und Heine. Auch Schnabel und Herrnheiser weisen im Hinblicke auf die oben erwähnte Hypothese Stillings von neuem auf die wesentlichen Unterschiede zwischen hydrophthalmischen und myopischen Augen hin. Dass in einzelnen Fällen die Form des kurzsichtigen Auges der des hydrophthalmischen sehr ähnlich sein kann, ist schon von Donders betont worden, der schreibt: »Es giebt Fälle von Myopie, in

welchen das Auge in fast allen seinen Durchmessern gleichmäßig vergrößert ist und der Zustand sich also dem angeborenen Buphthalmus nähert.

§ 134. Der Schilderung der anatomischen Befunde am Sehnerveneintritte schicken wir eine kurze Übersicht über die wichtigsten ophthalmoskopischen Veränderungen in kurzsichtigen Augen voraus.

Die für Achsenmyopie charakteristischsten Veränderungen des Augenhintergrundes sind die folgenden: 1. Der sogenannte myopische Conus, 2. die (scheinbare oder wirkliche) Veränderung der Papillenform und die sogenannte Supertraktion, 3. die ophthalmoskopischen Veränderungen in der Maculagegend, 4. die durch eine scharf begrenzte Ektasie der hinteren Polgegend bedingte »Schattenbildung« und die damit in Zusammenhang stehenden Eigentümlichkeiten des Gefäßverlaufes, 5. der Weiss'sche »Reflexbogenstreif.«

In den ersten 20 Jahren nach Erfindung des Augenspiegels hat man ziemlich allgemein die Mehrzahl der am Hintergrunde kurzsichtiger Augen nachweisbaren Veränderungen unter dem Namen Staphyloma posticum zusammengeworfen und insgesamt, wesentlich auf die Autorität v. Graefe's hin, als Folge einer »Sclerotico-chorioiditis posterior« angesehen, obschon v. Graefe selbst bei zwei von ihm anatomisch untersuchten kurzsichtigen Augen vergebens nach den Anzeichen einer Entzündung gesucht und danach seine Ansicht modificiert hatte, und obschon v. Jäger und Schweigger nachdrücklich darauf hinwiesen, dass der sogenannte Conus unmöglich als Folge eines entzündlichen Prozesses angesehen werden könne. Donders meinte wohl, dass das »Staphyloma posticum nicht einfach als Resultat von Sclerotico-chorioiditis betrachtet werden könne«, dass aber die krankhafte Ausdehnung oft zu Reizung und Entzündung führe, und dass »durch Erweichung der Häute die Bedingung zu rapider Entwicklung gegeben« werde. Der »atrophische Halbmond« auf der temporalen Papillenseite kommt nach Donders durch Dehnung zustande, indem durch diese an den äußersten Verzweigungen der Choriocapillaris eine Stockung der Circulation eintrete und hierdurch die Bedingung für den Beginn einer Atrophie gegeben werde. Donders stellte das Vorhandensein bestimmter Grenzen zwischen einem stark entwickelten Halbmonde und den entfernteren atrophischen Herden in Abrede; nach v. Jäger können letztere allein als das Produkt einer Entzündung angesehen werden.

Einen wesentlichen Fortschritt unserer Kenntnisse bedeutet die strenge Scheidung der bei Myopie am Sehnervenkopfe selbst auftretenden Veränderungen von der pathologischen Dehnung in der hinteren Polgegend, für welche letztere allein jetzt die Bezeichnung Sclerectasia posterior oder Staphylom im engeren Sinne gebraucht wird, während die weißlichen Sicheln als Coni von jenen Bildungen unterschieden werden müssen. Die

Notwendigkeit einer solchen strengen Scheidung ist insbesondere von SCHNABEL betont worden, der in seiner ersten Abhandlung hierüber die Ansicht aussprach, dass viele sogenannte Coni zweifellos angeborene Bildungen seien. (In neuerer Zeit fasst er alle Coni, ohne Ausnahme, als angeborene Bildungsanomalie auf.)

Die häufigste Form des myopischen Conus ist eine auf der temporalen Seite des Sehnerven auftretende Sichel von verschiedener Breite, die gegen den roten Hintergrund durch eine scharfe, zuweilen pigmentierte Bogenlinie abgesetzt ist und meist gleichmäßig hellweiß erscheint. In einer Reihe von Fällen ist aber nur der dem Sehnervenkopfe zugewendete Teil der Sichel weiß, während eine mehr oder weniger breite periphere Partie gelblich oder auch bräunlichrot erscheinen kann und dann oft deutlich chorioideale Gefäße erkennen lässt. In selteneren Fällen zeigt die ganze Sichel die gelbrötliche Farbe. Zuweilen erscheint der Conus als äußerst schmaler Saum, in anderen Fällen kann seine Breite 1—2 Papillendurchmesser und mehr betragen; er kann sich dann auch um den ganzen Sehnervenkopf ausdehnen, sodass er sich nicht mehr als Sichel, sondern als geschlossener Ring darstellt, der aber gewöhnlich auf der temporalen Seite breiter ist als auf der nasalen (»ringförmiger Conus«).

Die Untersuchungen über die Häufigkeit des Vorkommens von Conus bei Myopie haben ergeben, dass er zwar in kurzsichtigen Augen häufiger ist, als bei den anderen Refraktionszuständen und dass er im großen und ganzen mit dem Grade der Myopie zunimmt, dass es aber sehr zahlreiche Ausnahmen von dieser Regel giebt. Typische Coni kommen zweifellos auch in emmetropischen und in hypermetropischen Augen vor.

v. GRAEFE hat angegeben, dass unter 10 hochgradig Myopischen 9 an »Sclerochorioiditis« leiden und DONDERS findet »da, wo vom 16.—20. Jahre eine Myopie von 6—8 D. besteht, fast ohne Ausnahme« eine sehr ausgesprochene, scharf begrenzte, fast vollständige Atrophie in der Form des Halbmondes. Bei sehr jugendlichen Individuen und bei mäßiger Myopie komme diese Atrophie »sehr selten« zur Beobachtung. Dagegen erwähnt JAGER, dass er in einzelnen Fällen schon in den Augen Neugeborener »schön geformte, charakteristische, spitze« Coni gefunden habe. Ebenso sah MAUTHNER bei dreijährigen Kindern große Coni. Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Größe des Conus und Höhe der Myopie besteht nicht; sind doch die Fälle durchaus nicht selten, wo man bei höchstgradiger Myopie nur einen schmalen Conus antrifft. STELLWAG fand unter 220 Myopiefällen bei M. von 6—20 D. 21 mal keinen Conus. Nach SEGGEL waren die hochgradig kurzsichtigen Augen ohne Conus etwas seltener. Er ist geneigt, in solchen Fällen Myopie durch abnorme Hornhautkrümmung anzunehmen.[1] Nach MAUTHNER fehlt der Conus sehr viel häufiger, auch bei hochgradiger Myopie. Ebenso zieht SCHMIDT-RIMPLER aus seinen Schuluntersuchungen den Schluss, dass zwar die Häufigkeit und Größe der Coni durchschnittlich mit dem Grade der Kurzsichtigkeit wachse, dass aber selbst bei den Myopiegraden von 6 D. die Coni in fast 20% fehlen. SCHLEICH fand unter

1026 kurzsichtigen Augen 18%, die keine Sichel zeigten, 42% mit schmalem, 22,4% mit breitem und 9,5% mit »ringförmigem« Conus.

Dass der Conus auch in nicht myopischen Augen vorkommt, ist lange bekannt. SEGGEL giebt an, er finde sich bei Emmetropie und Hypermetropie selten und sei dann das sichere Anzeichen dafür, dass vorher höhergradige Hypermetropie bestanden habe. Das »Ringstaphylom« sei in der Regel unter Zunahme der Kurzsichtigkeit aus dem einfachen Conus hervorgegangen und demnach das typische Zeichen eines unter Nahearbeit hochgradig kurzsichtig gewordenen und in seiner Funktion geschädigten Auges. SCHNABEL fand unter 135 Coni 99 in myopischen Augen, 18 in emmetropischen und ebensoviele in hypermetropischen Augen.

Die angeborenen Coni sind nach SCHNABEL's Ansicht von dem Bestehen eines hinteren Scleralstaphyloms ganz unabhängig, da die Chorioidea innerhalb des Conus nicht geschwunden, sondern überhaupt gar nicht gebildet worden sei. Auch die hinteren Netzhautschichten nebst Pigmentepithel fehlten im Gebiete des Conus vollständig. Der sichelförmige Conus besteht nach ihm aus einem Teile des Sehnerven, der infolge einer Anomalie in der Chorioidea in eine abnorme Lage gekommen sei. Die Annahme, dass er durch Zerrung der Chorioidea oder der Pialscheide des Sehnerven entstehe (WEISS), sei unhaltbar.

Die erste genauere mikroskopische Untersuchung eines myopischen Conus verdanken wir WEISS. In einem Auge, das eine Myopie von 5 Dioptrien gehabt hatte und das in Form und Größe zwar nicht wesentlich von einem emmetropischen Auge abzuweichen schien, auf dem Querschnitte aber eine merkliche Dehnung der ganzen äußeren Hälfte des hinteren Abschnittes erkennen ließ, ergab die mikroskopische Untersuchung zunächst das schon mit dem Spiegel früher konstatierte Bild der »Supertraktion« (s. u.) der Netzhaut und Chorioidea über die nasale Papillenhälfte. Hinsichtlich des Conus fand WEISS, dass dieser nicht auf eine starke Verdünnung der Chorioidea an dieser Stelle zu beziehen war, sondern auf eine ausgiebige Herüberziehung einer breiten Falte des Sehnerven über den temporalen Scleralrand durch den Zug der Chorioidea. An der Stelle des durch den Pigmentbogen nach außen deutlich begrenzten Conus lag nur heraus- bezw. herübergezogenes Sehnervengewebe, Faserzüge der Lamina cribrosa mit eingeschlossenen Opticusfasern.

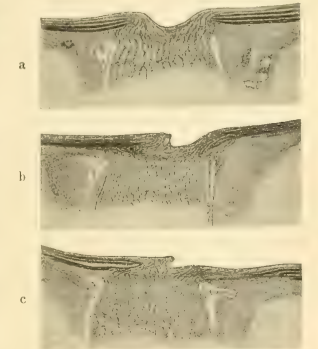
In zwei Augen mit höhergradiger Myopie erhob WEISS den Befund einer beträchtlichen Erweiterung des Zwischenscheidenraumes nach allen Seiten hin. Sein vorderes Ende reichte in einem Falle so weit nach vorn, dass er nur durch eine dünne Lage Scleralgewebe von der Innenfläche der Sclera getrennt war. Gleichzeitig mit WEISS hat auch Herzog CARL THEODOR in Bayern anatomische Befunde bei Supertraktion und Dehnung auf der temporalen Sehnervenseite mitgeteilt.

Der von WEISS erhobene anatomische Befund bezüglich des Conus

kehrt in wesentlich übereinstimmender Weise in den meisten später untersuchten Augen mit Conus wieder, so auch in den von SCHNABEL, HERRNHEISER, HEINE u. a. untersuchten Fällen.

Die sogenannte Supertraktion wurde zuerst von JÄGER 1861 beschrieben: In einzelnen stark kurzsichtigen Augen fand er auf der nasalen Papillenseite eine halbmondförmige, schwach pigmentierte Sichel. Im Bereiche dieser ophthalmoskopisch sichtbaren Partie zeigte sich bei der mikroskopischen Untersuchung die Netzhaut über die Eintrittsstelle des Sehnerven nach dessen Centrum hin verschoben und da diese Abweichung sich erst späterhin in dem ursprünglich mehr oder weniger normal gebauten Auge allmählich entwickelt, so wird gleichzeitig Epithelialpigment der Chorioidea und der Netzhaut über den Sehnerven hin verschoben. NAGEL hat (1878) diese Angaben bestätigt und durch den Nachweis erweitert, dass »insbesondere in den frühesten Stadien der Myopie die geringeren Grade der Herüberziehung der Chorioidealgrenze über den nasalen Sehnervenrand häufig beobachtet« werden. WEISS fand in zwei Augen mit hochgradiger Myopie eine starke Herüberziehung der Augenhäute am Sehnervenkopfe in temporaler Richtung, doch so, dass nur die inneren Netzhautschichten sich weit herüber bis nahe zur Sehnervenmitte verfolgen ließen, nicht aber die Chorioidea, die hier, in der Umgebung des Opticus, einer hochgradigen Atrophie anheimgefallen war. Die beiden Abbildungen (Fig. 85 b und c nach HEINE) zeigen den der sogenannten Supertraktion der Netzhaut zu Grunde liegenden anatomischen Befund und lassen erkennen, dass in diesen Fällen auch die Chorioidea über den Sehnervenkopf herüber gezogen ist, wenn auch weniger weit, als die Netzhaut.

Fig. 85.



Durchschnitt durch die Sehnervenköpfe eines emmetropischen (a), eines mäßig myopischen (b) und eines hochgradig myopischen (c) Auges.

STILLING fand bei mikroskopischen Untersuchungen neben einer starken Seitwärtsverziehung der Papille eine beträchtliche temporale Verziehung des ganzen Scleroticalkanales, so zwar, dass die temporale Wand mehr verzogen

war, als die nasale. Während der normale Scleralkanal einen stumpfen Trichter darstellt, dessen kleinere Oeffnung netzhautwärts gerichtet ist, bildet er nach Stilling in den von ihm untersuchten kurzsichtigen Augen einen schief gestellten Cylinder. Er folgert daraus, dass der Conus im wesentlichen ein optisches, perspektivisches Phänomen sei, das dadurch zustande komme, dass der Beobachter von vorn auf den schrägen Cylinder sehe. Der Conus sei also nichts weiter als ein verbreiterter und schräg gestellter Scleralring, dessen Lage dem Verlaufe der Sehne des Obliquus superior entspreche; der Zug der letzteren bewirke die schräge Verziehung. Der Stilling'schen Auffassung schließt sich Seggel in den wesentlichen Punkten an. Die von Stilling selbst mitgeteilte, sowie eine von ihm wiedergegebene Abbildung von Jäger lassen eine derartige schräge Verziehung des gesamten Scleroticalkanales gut erkennen, so dass die Stilling'sche Deutung für diese Fälle wohl zutrifft. Auch in unserer Fig. 85b kann der gerade von vorn ins Auge blickende Beobachter thatsächlich die innere Wand des Scleroticalkanales zu Gesichte bekommen. Dass die Stilling'sche Deutung aber sicher nicht für alle Fälle zutrifft, zeigt schon Abbildung c unserer Figur. Denn hier wird für die ophthalmoskopische Betrachtung nur die nach vorn gewendete Innenfläche der Sclera sichtbar, die Innenfläche des Scleralkanales dagegen entzieht sich ganz der ophthalmoskopischen Beobachtung. Ähnliches findet man in einigen der von Schnabel und Herrnheiser veröffentlichten Abbildungen.

Die Untersuchungen von Schnabel und Herrnheiser über die anatomische Grundlage des Conus führen, was den thatsächlichen Befund angeht, zu ähnlichen Ergebnissen, wie die Weiss'schen Arbeiten. Während aber Weiss das Zustandekommen des Conus auf eine Zerrung durch den relativ zu kurzen Sehnerven bezieht, sehen diese Autoren in ihm ausnahmslos eine angeborene Anomalie: »Wenn der Durchmesser des Sclerochorioidealkanales größer ist, als der Durchmesser der Papille, so erscheint im ophthalmoskopischen Bilde eine weiße Zone rings um die Papille, der ringförmige Conus. Diese abnorme Weite des Sclerochorioidealkanales ist nicht erworben, sondern der Ausdruck eines Bildungsmangels in beiden äußeren Augenhäuten rings um den Sehnerven.« Ein analoger angeborener Bildungsmangel der Chorioidea auf der temporalen Seite der Papille allein bedinge den sichelförmigen« Conus. Dieser Bildungsmangel habe die von Weiss beschriebene (oben erwähnte) Anomalie in der Lage des vordersten Stückes der inneren Sehnervenscheide und der ihm anliegenden Sehnervenfasern zur Folge; beide Formen seien durch Übergänge miteinander verbunden. Von ihnen wohl zu unterscheiden seien die großen, unregelmäßig begrenzten, weißen Felder, die wohl auch öfter als ringförmige Coni bezeichnet werden. Sie sind nach Schnabel und Herrnheiser »entweder überhaupt keine Coni oder setzen sich aus Conis und entzündlich veränderten Partien der inneren Augenhäute zusammen.

Das ophthalmoskopische Bild des Conus soll nach SCHNABEL und HERRNHEISER in der folgenden Weise zustande kommen: »Man stelle sich vor, dass entsprechend dem lateralen oder unteren Teile des Papillenumfanges die vordersten Schichten der Aderhaut, die Lamina elastica und die Choriocapillaris, in größerem Abstande von der Achse des Sehnerven aufhören als die Gefäßschichten der Aderhaut und die Suprachorioidea, dass aber die innere Scheide des Sehnerven sich, ebenso wie im Auge mit ganz normaler Chorioidea, mit der ganzen dem Sehnerven zugewendeten Seitenfläche der Chorioidea fest verbinde und erst am Rande der Lamina elastica aufhöre. Um zu diesem Rande zu gelangen, muss sich die innere Scheide nahe ihrem vorderen Ende so umlegen, dass sie parallel zur Sclera und Chorioidea zu liegen kommt und den Teil der hinteren Chorioidealschichten bedeckt, welcher zwischen dem Rande der Lamina elastica chorioideae und dem vorderen Rande des Scleroticalkanales liegt. Die vordere Fläche des umgelegten Stückes der inneren Scheide ist gegen das Augeninnere gewendet und wird bei ophthalmoskopischer Untersuchung als ein weißes Feld gesehen, das dem Papillenrande unmittelbar anliegt und von einer regelmäßigen Bogenlinie begrenzt ist, deren Enden in die normal gelegenen Teile des Bindegewebsringes übergehen. Wenn die vorderen Aderhautschichten so weit an die Achse des Sehnervenstranges heranreichen, wie der vordere Rand des Scleroticalkanales, so sieht der Ophthalmoskopiker nur den Rand der inneren Scheide, den sogenannten Bindegewebsring.« Diese Darstellung entspricht, wie man sieht, im wesentlichen der WEISS'schen.

HEINE sieht als wesentliche Ursache der Conusbildung das Verhalten der Lamina elastica chorioideae an. Sie nehme an der Dehnung nicht in gleichem Maße teil, wie Sclera, Aderhaut und Netzhaut; der Widerstand, den sie dieser Dehnung entgegensetze, genüge, um die hochgradige Verzerrung der Nervenfasern und die Atrophie der Chorioidea hervorzurufen. Auch bei der Bildung des einfachen Conus ohne Chorioidealatrophie müsse eine Druck- bezw. Zerrungsatrophie im Bereiche des Conus angenommen werden.

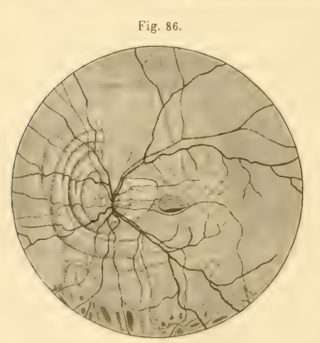
Wir sehen nach dem Gesagten das ophthalmoskopische Bild des Conus wesentlich dadurch bedingt, dass die Pigmentepithelschicht der Netzhaut in einiger Entfernung vom Sehnervenkopfe aufhört und dass infolgedessen die dahinter gelegenen Teile direkt sichtbar werden. Fehlt die Chorioidea hier vollständig, so ist die Innenfläche der Sclera oder, in einigen Fällen, die Innenwand des Scleralkanales sichtbar, der Conus erscheint dann im allgemeinen vollkommen weiß. Ist aber an dieser Stelle Chorioidealgewebe (mehr oder weniger vollständig vorhanden, so sieht man den Conus je nach dem Pigmentgehalte der Chorioidea mehr oder weniger gelbrötlich oder bräunlich, oft von Chorioidealgefäßen durchzogen. Anatomische Befunde über Aderhautreste im Gebiete des Conus haben ELSCHNIG und HEINE mitgeteilt.)

Wohl die meisten Autoren sehen im Conus den Ausdruck einer mehr oder weniger starken Dehnung des hinteren Abschnittes, fassen ihn also wesentlich als einen erworbenen Zustand auf. Die entgegengesetzte Ansicht

vertreten, wie wir sahen, Schnabel und Herrnheiser (s. o.). Allerdings betonen sie, dass sie »damit natürlich nicht meinen, dass jeder Conus in der Größe zur Welt gebracht werde, die er nach mehrjährigem Bestande der Myopie in dem Auge des erwachsenen Menschen hat. Der Conus wächst mit dem Auge aus kleinen Anfängen, die von dem normalen Bindegewebsringe nicht zu unterscheiden sind.« Dies besagt aber, wie mir scheint, nichts anderes, als dass der ophthalmoskopisch sichtbare Conus eben nicht angeboren, sondern erworben ist. Denn es geht daraus hervor, dass man unter Umständen in kurzsichtig gewordenen Augen einen Conus sieht, den man an demselben Auge in früheren Jahren nicht gefunden haben würde. Wollten die Verfasser aber mit dem angeführten Satze etwa andeuten, dass die Disposition zum Conus angeboren sei, so geben sie nur einer verbreiteten, schon von Donders vertretenen Ansicht Ausdruck. Die anatomischen Befunde an kurzsichtigen Augen, die ich bisher kennen gelernt habe, scheinen mir ebenso wie die klinische Erfahrung dafür zu sprechen, dass wir die Mehrzahl der ophthalmoskopisch sichtbaren Coni als erworbene Bildungen auffassen müssen, die im wesentlichen durch abnorme Dehnung des hinteren Abschnittes entstanden sind.

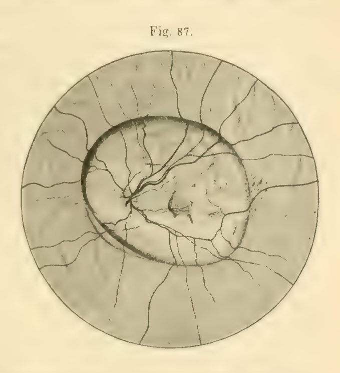
Das ophthalmoskopische Bild der Sclerectasie d. i. der eigentlichen Ausbuchtung des hinteren Skleralabschnittes, kannte schon A. v. Gräfe; er bezeichnete sie mit dem Namen Staphyloma verum. Nachdem sie lange ganz in Vergessenheit geraten schien, haben 1891 Weiss und Masselon, nach ihnen Caspar und Otto die Aufmerksamkeit von neuem darauf gelenkt und insbesondere der letztere hat eine genaue Schilderung des ophthalmoskopischen Befundes derselben unter verschiedenen Verhältnissen gegeben. Er konnte unter 355 von ihm untersuchten myopischen Augen 55 mal die Existenz eines wirklichen »Staphyloms« feststellen, das in sehr ausgesprochenen »Schatten- und Stufenbildungen« in Form feiner dunkler Sicheln zum Ausdrucke kam, an welchen die Netzhautgefäße plötzlich abknicken oder vollständig verschwinden können (s. Fig. 86). Die Teile des Hintergrundes, die unmittelbar centralwärts von der Stufe liegen, zeigen

Fig. 86.



eine merklich höhere Refraktion, als die peripher vom Schatten liegenden Teile und im allgemeinen eine wesentlich andere Färbung als letztere: sie sind äußerst licht, fast albinotisch, sodass die Chorioidealgefäße hier mit großer Deutlichkeit sichtbar werden. In manchen Fällen ist eine solche Schattenbildung rings um den ganzen hinteren Pol zu verfolgen (s. Fig. 87), meist aber sieht man sie nur auf der nasalen Seite; sie verliert sich nach oben und unten von der Papille und der übrige Teil der Ausbuchtung giebt sich nur durch Abknickung und parallaktische Verschiebung der Gefäße sowie der damit zusammenfallenden scharfen Grenze der helleren Fundusteile zu erkennen. Auch in diesen Fällen gelingt fast immer der Nachweis einer vollständigen kuppelartigen Ausbuchtung des Hintergrundes. Häufig ist die Schattenbildung eine doppelte oder mehrfache, sodass der Hintergrund den Anblick einer Terrasse bieten kann (s. Fig. 86). Endlich kommt ausgesprochene kuppelförmige Staphylombildung auch ohne jede Schattenbildung vor.

Fig. 87.



Bei Kurzsichtigkeit von 20 Dioptrien aufwärts fand Otto immer, bei solcher von mehr als 15 D. fast immer diese Staphylombildung. Zwischen 11 und 15 D. sei sie etwa in der Hälfte der Fälle nachzuweisen. Bei 9 Dioptrien fand er sie unter 24 Fällen 9mal. Deutliche, aber mehr beschränkte Ausbuchtungen wurden vereinzelt noch bei 7 D. gefunden. Indirekt auf Dehnung des Hintergrundes deutende Zeichen fand Otto vielfach noch zwischen 6 und 9 D. Weiss fand die erwähnten Bildungen sehr viel seltener, Caspar in 242 Augen 4mal, Masselon sah sie bei hohen Myopien »ziemlich häufig«.

Die anatomische Untersuchung entspricht im großen und ganzen diesen Befunden insofern, als man in einer Reihe von Fällen eine ziemlich scharf umschriebene, mehr oder weniger unregelmäßige Ausbuchtung des hinteren Pols, in anderen dagegen den ganzen hinteren Bulbusabschnitt oft sehr gleichmäßig ausgedehnt findet. Hier sieht Otto den ophthalmoskopischen Ausdruck der Dehnung des hinteren Abschnittes in der allgemeinen »Lichtung« des Hintergrundes, in dem Vorhandensein eines Conus, einer zum Teile sehr beträchtlichen Schrägstellung der Papille und starken Streckung der großen Netzhautgefäße.

§ 135. Weiss hat (1885) bei beginnender Kurzsichtigkeit an der Innenseite der Papille einen feinen, glänzenden »Reflexbogenstreif« gefunden; er betrachtet ihn als eine der ersten ophthalmoskopisch sichtbaren Veränderungen im kurzsichtig werdenden Auge und glaubt, dass es sich um Flüssigkeitsansammlung vor der Papille handle, die im Zusammenhange mit beginnender Glaskörperablösung auftrete. Der Streif finde sich zuweilen auch in emmetropischen oder leicht hypermetropischen Augen, was Weiss durch die Annahme erklärt, dass das betreffende Auge früher stärker hypermetropisch gewesen und erst durch Dehnung in den weniger hypermetropischen oder emmetropischen Zustand übergeführt worden sei. Die Glaskörperabhebung erklärt Weiss wesentlich durch den Zug am Sehnerven, während Nordenson der in kurzsichtigen Augen häufig gefundenen Glaskörperschrumpfung die Hauptrolle für die Entstehung wenigstens der ausgedehnteren Glaskörperabhebungen zuschreibt. Die Bedeutung des Reflexbogenstreifens für die Diagnose beginnender Kurzsichtigkeit wurde später u. a. von Randall betont.

Für die Beantwortung verschiedener Fragen wäre es von Interesse, Genaueres über das histologische Verhalten der Netzhaut bei Dehnung des hinteren Abschnittes zu wissen. Doch lassen sowohl unsere makroskopischen, wie die mikroskopischen Kenntnisse in dieser Hinsicht viel zu wünschen übrig. In einem normalen Auge deckt die Netzhautoberfläche der hinter dem Äquator gelegenen Bulbushälfte einen Flächenraum von ca. 9 qcm. Bei gleichmäßiger Dehnung derselben bis zu einer Bulbuslänge von 31 mm würde diese Fläche um mehrere (4—6) qcm zunehmen müssen. Bei der geringen Elasticität der Netzhaut könnte dies wohl kaum ohne Schädigung ihrer Funktion geschehen. In der größeren Zahl der Fälle ist die Dehnung aber wohl keine ganz gleichmäßige; einzelne Strecken werden mehr, andere weniger in Mitleidenschaft gezogen, und die Schädigung der Netzhaut wird danach sehr verschieden groß sein können. Donders war der Ansicht, dass die verminderte Sehschärfe des kurzsichtigen Auges aus dieser Dehnung zu erklären sei, die nach seiner Meinung vorzugsweise die Gegend des gelben Fleckes betreffe. Nach Mauthner beruht die Herabsetzung der Sehschärfe bei Myopie ebenso wie bei Hypermetropie auf anomaler, resp. gestörter Funktion der Zapfen, die auf unbekannte Veränderungen derselben zu beziehen sei. Knapp's Annahme, dass die Zapfen der Fovea im hypermetropischen Auge dichter, im kurzsichtigen dünner stehen sollen, als im emmetropischen, hat von verschiedenen Seiten Widerspruch erfahren. Eine anatomische Begründung dieser Annahme fehlt bis jetzt. Die Angabe Heine's, dass er in einem Auge mit Myopie von 12 Dioptrien »genau wie im gesunden Auge die sechseckigen Zapfenquerschnitte in geraden Linien angeordnet« gefunden habe, beweist nur, dass eine deutlich sichtbare Dehnung in solchen Augen nicht notwendig eintreten muss. Heine selbst nimmt

für seine Fälle »eine erhebliche Dehnung der inneren, eine minimale der äußeren« Netzhautschichten an, die sich an seinen Schnitten thatsächlich erkennen lasse.) Dagegen sah Heine in einem Bulbus mit Myopie von 14 Dioptrien im fovealen Gebiete statt der Zapfen »finger- oder wurstförmige Klumpen«, die er als Degenerationsformen der Neuroepithelien ansieht.

Ophthalmoskopisch findet man bei höchstgradiger Kurzsichtigkeit nicht selten ausgesprochene Veränderungen im fovealen Gebiete, insbesondere oft weiße, zum Teil pigmentierte, auch gelblich rote, unregelmäßige Herde von großer Ausdehnung, ferner helle, streifige oder aderförmige, vielfach verzweigte Linien, diffuse Entfärbungen, bei starker Myopie nicht ganz selten auch Blutungen. Vielfach werden derartige Veränderungen, wie mir scheint, ohne genügende Begründung als Chorioiditis infolge von Myopie bezeichnet. Heine hält es nach seinen anatomischen Untersuchungen für wahrscheinlich, dass solche ophthalmoskopisch sichtbare Chorioidealherde zum großen Teile auf pathologische Veränderungen des Pigmentepithels zu beziehen sind, während die Chorioidea an den entsprechenden Stellen wenig oder gar nicht verändert erscheint. (Mir scheint, dass die Bezeichnung »Chorioiditis« vielfach missbräuchlich angewendet wird, wenn mit dem Augenspiegel weiße Herde und Pigmentanhäufungen sich zeigen. Ich halte es für fast zweifellos, dass häufig derartige Veränderungen hervorgerufen werden durch krankhafte Prozesse, die pathologisch-anatomisch nichts mit Entzündung zu thun haben.

Salzmann fand (1901) in kurzsichtigen Augen meist im Bereiche der atrophischen Herde Defekte in der Lamina elastica, die im allgemeinen die Form von Spalten oder verzweigten oder netzförmigen Figuren hatten; sie seien nahe der Papille meist zu ihr koncentrisch und münden gewöhnlich in das Foramen opticum; er fasst diese Defekte als Folge einer mechanischen Dehnung auf. Daneben findet er alle jene Veränderungen, wie sie bei ausgesprochen entzündlichen Chorioidealatrophien vorkommen. Der Prozess beginnt nach ihm mit Dehiscenzen im Aderhautgewebe, namentlich in der Glashaut, es folgen dann Reparationsvorgänge, Pigmentepithelwucherung und Verdickung, Eindringen des Epithels in die Aderhaut. Die so entstandenen, widerstandsunfähigen Narben sollen dann zu neuen Dehiscenzen führen.

Auf die genannten Veränderungen wird im allgemeinen die Herabsetzung der Sehschärfe zu beziehen sein, die in der großen Mehrzahl der hochgradig kurzsichtigen Augen gefunden wird; denn die Netzhautbildgröße ist ja im myopischen Auge keine andere als im emmetropischen, wenn die Kurzsichtigkeit durch ein im vorderen Brennpunkte befindliches Glas korrigiert ist.

Als Beispiel für die Beziehungen zwischen Myopie und Sehschärfe mögen die von LEININBERG und von SCHLEICH mitgeteilten Zahlen angeführt werden:

LEININBERG ermittelte bei Untersuchung von 2893 kurzsichtigen Augen:

bei Myopie	< 2	Dioptrien	eine	durchschnittliche	Sehschärfe	= 1
» »	= 2—4	»	»	»	»	= 0,9
» »	= 4—6	»	»	»	»	= 0,8
» »	= 6—10	»	»	»	»	= 0,6
» »	= 10—12	»	»	»	»	= 0,5
» »	= 12—18	»	»	»	»	= 0,3
» »	> 18	»	»	»	»	= 0,2.

SCHLEICH findet bei 738 myopischen Augen:

bei Myopie	< 2	Dioptrien	eine	durchschnittliche	Sehschärfe	= 1,03
» »	= 2—4	»	»	»	»	= 0,95
» »	= 4—6	»	»	»	»	= 0,90
» »	= 6—8	»	»	»	»	= 0,71
» »	= 8—10	»	»	»	»	= 0,55
» »	= 10—12	»	»	»	»	= 0,52
» »	= 12—14	»	»	»	»	= 0,44
» »	= 14—16	»	»	»	»	= 0,27
» »	= 16—18	»	»	»	»	= 0,26
» »	= 18—20	»	»	»	»	= 0,14
» »	> 20	»	»	»	»	= 0,16.

SEGGEL dagegen beobachtete schon bei Myopie von 0,5—0,75 D. eine Herabsetzung der durchschnittlichen Sehschärfe auf 0,92, bei Myopie von 1—1,75 D. eine solche auf 0,8 der normalen. Auch bei den höheren Graden findet er etwas kleinere Werte für die Sehschärfe als die anderen genannten Forscher: so bei Myopie von 6—8 Dioptrien = 0,57, bei Myopie von 14—20 Dioptrien = 0,13.

Eine von dem bisher Geschilderten verschiedene Veränderung stellt der sogenannte »centrale schwarze Fleck bei Myopie« dar, der von FÖRSTER (1862) zuerst beschrieben, von LEHMUS (1875) anatomisch untersucht und neuerdings von FUCHS (1901) zum Gegenstande eingehenderen Studiums gemacht wurde. Meist tritt plötzliche beträchtliche Herabsetzung des Sehens mit Metamorphopsie auf, bedingt durch ein kleines centrales Skotom: Man findet in der Maculagegend einen kreisrunden schwarzen Fleck, der öfter in der Mitte etwas heller erscheint, bei längerem Bestehen zuweilen von einem helleren Saume umgeben ist, (als ob hier das Pigmentepithel zu Grunde gegangen wäre, sodass die rote Aderhaut hier unverschleiert zu Tage tritt); im weiteren Verlaufe ändert sich der Fleck wesentlich durch Vergrößerung, Aufhellung und Bildung einer atrophischen Zone ringsumher. Die anatomische Untersuchung eines solchen Falles durch LEHMUS ergab normale Aderhaut und Glaslamelle, dagegen starke Wucherung des Pigmentepithels bis auf 2/3 der Aderhautdicke. Auf dem gewucherten Pigmentepithel lag ein gelatinös aussehendes, zellenloses Exsudat (Fibringerinnsel?); die Netzhaut war mit der Oberfläche dieses Pigmenthügels verwachsen.

Die Messung der Ausdehnung des blinden Fleckes im kurzsichtigen Auge ist für die Beurteilung des Verhaltens der Netzhaut im Conusgebiete von Interesse. v. Graefe, der ursprünglich eine Vergrößerung des blinden Fleckes infolge Aufhebung der normalen Netzhautleitung in dem von Chorioidea entblößten Gebiete angenommen hatte, gab später an, dass oft eine Vergrößerung des blinden Fleckes in keiner Weise nachweisbar sei. »Nur in seltenen Fällen habe ich beobachtet, dass die ganze Netzhautpartie jeder Funktion verlustig geht.« Donders fand, dass »bei geringer Entwicklung des Halbmondes die Wahrnehmung von Licht auf demselben nicht fehle, aber bei hohen Graden mit entwickelter Atrophie jede Wahrnehmung wirklich vollständig oder beinahe vollständig verschwinde.« Ähnliches fanden Marsikani und Woinow. Nach Schnabel soll beim angeborenen Conus im Gebiete der weißen Stelle die Lichtempfindung vollständig fehlen. Mauthner's Beobachtungen ließen, bei Messung am Perimeter, an einer Gruppe von Augen mit M von 3—7 D. keine Vergrößerung des blinden Fleckes in Perimetergraden erkennen. Er schließt daraus, dass »da, wo ein Conus von irgendwie nennenswerter Ausdehnung sich findet, die Netzhaut über demselben gar nicht oder vielleicht nur in einem schmalen, dem Opticus angrenzenden Teile die Empfindlichkeit gegen Licht eingebüßt hat.« Auch bei höheren Graden von Myopie fand er mehrfach normale Größe des blinden Fleckes, in einzelnen Fällen dagegen eine wesentliche Vergrößerung desselben.

Aus den Weiss'schen sowie aus den oben abgebildeten anatomischen Befunden geht hervor, dass in diesen Fällen die lichtempfindenden Netzhautelemente nicht merklich näher an den Sehnervenkopf heranreichen, als die Pigmentepithelschichte, dass also hier innerhalb des von Pigmentepithel entblößten Bezirkes am temporalen Sehnervenrande, den wir als dem Conus entsprechend kennen gelernt haben, eine Lichtempfindung nicht vorhanden sein kann.

Den Abstand zwischen Fovea und Mittelpunkt des blinden Fleckes, der im normalen Auge 4—5 mm beträgt, hatten Landolt und Dobrowolsky ziemlich übereinstimmend bei Kurzsichtigen kleiner, bei Hypermetropen größer gefunden, als bei Emmetropen. Eine Bestätigung dieser Angaben hat neuerdings Volpe (1899) gegeben. Mauthner hingegen konnte eine solche Verringerung bei vielen kurzsichtigen Augen von 3—7 D. nicht nachweisen. Der Abstand betrug hier, am Perimeter gemessen, zumeist 15°; er schwankte zwischen 14° und 16°, also innerhalb derselben Grenzen, wie im normalen Auge. Bei einer zweiten Gruppe von hochgradig Kurzsichtigen fand er dagegen bei Perimetermessung, »auch wenn der Sehnerv vollkommen en face gesehen wurde«, kleinere Werte für den Abstand des blinden vom gelben Flecke; es war dies aber nur dann der Fall, wenn der blinde Fleck nicht vergrößert war. Mauthner zieht daraus den Schluss,

dass bei beginnender Achsenverlängerung, wenn die Macula selbst nicht gedehnt wird, die Netzhaut zwischen Fovea und Sehnerven an der Dehnung teilnehme, ohne an Lichtempfindlichkeit einzubüßen. Bei weiterer Achsenverlängerung werde die Netzhaut entweder in gleicher Weise wie die Sclera gedehnt: das seien die Fälle, in welchen der Winkelabstand zwischen Fovea und Sehnerv gleich bleibt oder zunimmt, der blinde Fleck aber vergrößert gefunden wird; oder aber, die Netzhaut werde nicht mehr so stark wie die Sclera gedehnt, die Fovea ändere also dann ihren linearen Abstand vom Sehnerven wenig oder gar nicht mehr: das seien jene Fälle, in welchen der blinde Fleck nicht vergrößert und sein Winkelabstand von der Fovea (am Perimeter gemessen) verringert erscheint.

Bei der Wahl der Versuchsanordnung zu diesen Messungen muss berücksichtigt werden, dass starke Dehnung am hinteren Pole und dadurch bedingte Schragstellung des zwischen Fovea und Sehnerven gelegenen Netzhautteiles einerseits und andererseits der vergrößerte Abstand der Netzhaut vom Knotenpunkte leicht scheinbare Verkürzung des gesuchten Abstandes bedingen kann. Mauthner empfiehlt deshalb Bestimmung mittels Perimeters, und zwar ermittelt er den Abstand der Fovea vom inneren Rande des Sehnervenkopfes, um die durch Vorhandensein eines Conus bedingten Fehler thunlichst auszuschließen. Dabei ist aber zu bemerken, dass auch die perimetrische Bestimmung des nasalen Papillenrandes bei etwa vorhandener Supertraktion der Netzhaut nicht immer einwandfreie Ergebnisse liefern dürfte.

In Präparaten Heine's durch Papille und Fovea hochgradig kurzsichtiger Augen war der Abstand der Fovea von der Papillenmitte oder vom Rande des Scleroticalkanales wesentlich größer als bei emmetropischen Augen. Dagegen war der Abstand des Pigmentepithelrandes von der Fovea normal.

Schließlich ist zu erwähnen, dass Weiss und Otto bei Perimeteruntersuchungen an myopischen Augen häufig eine beträchtliche periphere Gesichtsfeldeinschränkung insbesondere an der temporalen Seite, und nicht selten ein halbmond- oder gürtelförmiges Skotom in der Umgebung der Fixationsstelle fanden, das auf starke Dehnung der Chorioidea in der Nähe der oben erwähnten »Stufe« bezogen wird. Hierher gehört wohl auch eine kürzlich von Wettendorfer gemachte Angabe, der bei sämtlichen von ihm untersuchten Augen mit Kurzsichtigkeit von mehr als 6 D. zum Fixationspunkte koncentrische Gesichtsfeldzonen mit wesentlich herabgesetzter Empfindlichkeit für Weiß und Rot fand, bei Augen mit einer Kurzsichtigkeit von weniger als 6 D. ein gleiches in einem sehr großen Procentsatze.

§ 136. Im vorderen Abschnitte des kurzsichtigen Auges sind krankhafte Veränderungen im allgemeinen viel seltener und geringfügiger, als im hinteren; die Form der vorderen Bulbushälfte unterscheidet sich meist gar nicht von jener emmetropischer Augen; dagegen sind öfter Angaben über

eine ungewöhnliche Form des Ciliarmuskels im kurzsichtigen Auge gemacht worden. Arlt fand ihn hier merklich dicker, als im emmetropischen; Donders schreibt, dass öfter »der Ciliarmuskel auch bei Verlängerung und Verdünnung der Glasfasern, welche von der Descemet'schen Haut entspringen und dem Muskel zum Ursprunge dienen, entfernter von der Hornhaut beginnt, als dies im normalen Auge der Fall ist«, und dass er zu gleicher Zeit länger, flacher und mehr oder weniger atrophisch sei. Iwanoff fand in Augen von 28—34 mm Achsenlänge den Ciliarmuskel »bedeutend dicker und länger als im normalen Zustande. Er hatte dazu noch die Besonderheit, dass sein dickster Teil im Vergleiche zum emmetropischen Auge nach hinten gerückt war«. Die Verdickung war »lediglich von der Verdickung und Verlängerung der Muskelbündel abhängig« (vgl. den folgenden Abschnitt § 151). Der ganze myopische Ciliarmuskel besteht nach Iwanoff aus meridional verlaufenden, dem Brücke'schen Teile entsprechenden Bündeln, während der Müller'sche fast ganz fehlt. Heine fand in den Bulbis mit 10 D. Myopie nicht nur eine Rückwärtslagerung des Muskelbauches, sondern auch eine Reduktion des Volums. In einem anderen Falle war der Muskel in toto atrophisch; stets hatte er die für das hochgradig kurzsichtige Auge angeblich typische Form. Demgegenüber sah Stilling in einem kurzsichtigen Auge einen Ciliarmuskel »mit exquisit hypermetropischer Form«; ich selbst besitze Schnitte durch ein Auge mit M = 20 D., wo der Ciliarmuskel ausgesprochen hypermetropische Form mit starker Entwicklung der Müller'schen Partie zeigt.

Von anderen Veränderungen im vorderen Abschnitte kurzsichtiger Augen sei noch die größere Tiefe der vorderen Kammer und das häufige Auftreten stärkerer Trübungen in dem vordersten Glaskörperabschnitte erwähnt.

§ 137. Im Hinblicke auf die Gefahren der Nahearbeit für die Entwicklung der Kurzsichtigkeit sind seit mehr als 50 Jahren schulhygienische Vorschriften erlassen und seit mehr als 30 Jahren allenthalben umfangreiche Änderungen in den Einrichtungen unserer Schulen getroffen worden. Betrachten wir aber die Myopiestatistiken, so erscheinen die bis jetzt erzielten Ergebnisse der Prophylaxe wenig befriedigend. Eine wirkliche Abnahme des Procentsatzes der Myopie in den Unterrichtsanstalten unter dem Einflusse günstigerer hygienischer Maßnahmen ist bisher von v. Hippel im Gießener Gymnasium, von Seggel in München und von Romiée (1899) für Belgien angegeben worden.

Seggel sah in einem Münchener Mädchen-Erziehungsinstitute den Myopieprocentsatz innerhalb 15 Jahren von 45% auf 20,3% zurückgehen, während er im selben Zeitraume bei einem Institut für Studierende sich auf gleicher Höhe erhielt. Einwandfreie Statistiken sind begreiflicherweise wegen der vielen komplizierenden Nebenumstände schwer zu erbringen. Seggel hebt hervor, dass

durch Besserung der Beleuchtungsverhältnisse die durchschnittliche Sehschärfe der Schüler sich wesentlich gehoben habe.

v. Hippel zieht aus seiner Statistik den Schluss, dass »durch Befolgung richtiger hygienischer Grundsätze bei der äußeren Einrichtung der Schulen und der inneren Organisation des Unterrichts sich die Häufigkeit der Myopie erheblich verringern und der Grad derselben in der übergroßen Mehrzahl der Fälle in mäßigen Grenzen halten und eine Herabsetzung der Sehschärfe meistens vermeiden lässt«. Romiée führt den von ihm beobachteten Rückgang der Kurzsichtigkeit auf bessere Beleuchtungsverhältnisse und geringere Anforderungen an Schönschreiben zurück.

Manche Forscher verhalten sich allen schulhygienischen Maßregeln gegenüber ziemlich ablehnend, wie Schnabel und Herrnheiser, denn die Entstehung des Staphyloma posticum könne nicht verhütet werden, und der Übergang der Schulmyopie in die hochgradige brauche nicht verhütet zu werden, weil er auch ohne diese Maßnahmen gar nicht stattfinde. Ein solches Urteil könnte leicht zu einer Unterschätzung des Wertes unserer schulhygienischen Maßnahmen führen. Ganz abgesehen von der allgemein sanitären Bedeutung einer energischen Fürsorge für gute Beleuchtung der Schulräume und gerade Körperhaltung der Kinder scheint mir die Möglichkeit, durch zweckmäßige Maßnahmen den durchschnittlichen Kurzsichtigkeitsgrad wesentlich herabzumindern, durchaus nicht so fernzuliegen, wie Schnabel und Herrnheiser dies wohl annehmen, wenn sie sagen »würde es doch noch gelingen, der Entwicklung der Myopie in den Schulen Schranken zu setzen, so müssten wir dies als einen höchst erfreulichen Beweis ärztlichen Könnens betrachten«. Wenn wir in angeborener geringerer Widerstandsfähigkeit der Sclera die Hauptursache für die Entstehung der Myopie sehen, so wird eine solche selbstverständlich durch schulhygienische Maßnahmen nicht eliminiert und ein gewisser Procentsatz von Kurzsichtigkeit mit oder ohne Nahearbeit immer bestehen bleiben. Aber da die Nahearbeit zweifellos ein sehr schädliches Moment für die Entwicklung der Kurzsichtigkeit ist, so wird letztere durch zweckmäßige Maßnahmen hinsichtlich der Nahearbeit wohl einigermaßen eingeschränkt werden können. Nach den Angaben verschiedener zuverlässiger Beobachter kann unter dem Einflusse der Nahearbeit ein Teil der in der Schule erworbenen Myopien noch höhere Grade, als 9 D. erreichen und schwere Komplikationen zeigen; andererseits ist sicher, dass schon bei Kurzsichtigkeit von weniger als 9 D., ja schon bei 6 D., Netzhautablösung gelegentlich vorkommt. Mit Rücksicht hierauf allein wären die schulhygienischen Maßnahmen schon genügend gerechtfertigt. Aber auch wenn wir hiervon absehen, so würde die Möglichkeit einer Herabsetzung des durchschnittlichen Myopiegrades bei unserer Jugend Grund genug für eingreifende Maßregeln sein. Ich kann mich hier der Ansicht Schnabel's und Herrnheiser's nicht anschließen, dass diese Schulmyopie gewissermaßen eine Annehmlichkeit sei, um derentwillen viele

Emmetropen »mit Freuden« auf den Genuss verzichten würden, ohne Brille deutlich in die Ferne sehen zu können. Ich glaube nicht, dass die geringfügigen Vorteile, die alte Leute haben, wenn sie wegen Myopie zum Lesen und Schreiben keines Glases bedürfen, in die Wagschale fallen können gegenüber den großen Nachteilen, die während der Jugend und im besten Mannesalter sich aus der Unfähigkeit ergeben, ohne Glas in der Ferne deutlich zu sehen. Nach meiner Überzeugung werden wir in dem Maße, als wir den Durchschnittsgrad der Myopie herabsetzen, auch die Leistungsfähigkeit unserer Jugend erhöhen; denn gewiss wird ein emmetropischer oder leicht kurzsichtiger Jüngling und Mann für die meisten Berufsarten besser geeignet sein, als ein solcher mit 4—8 D. Myopie. Wir werden mit allen Mitteln weiter dahin arbeiten müssen, für unsere Schuljugend die denkbar günstigsten Verhältnisse für die Nahearbeit zu schaffen, in erster Linie durch solche Einrichtungen, die eine Arbeit bei möglichst geringer Convergenz der Blicklinien ermöglichen, in zweiter Linie durch Maßnahmen, die eine länger fortgesetzte Nahearbeit bei ungenügender Beleuchtung thunlichst einschränken. Mit Recht ist insbesondere auch auf die Notwendigkeit hingewiesen worden, den häuslichen Arbeiten mehr Aufmerksamkeit zu schenken, bei welchen oft unter durchaus unhygienischen Bedingungen die Augen viele Stunden lang mit Nahearbeit angestrengt werden. Dass auch bei wesentlicher Reduzierung dieser häuslichen Arbeiten befriedigende Lehrerfolge erzielt werden können, ist durch die Erfahrungen an verschiedenen deutschen Gymnasien nachgewiesen.

§ 138. Eine weitere, fundamental wichtige Frage ist die, ob und inwieweit wir durch geeignete Brillenwahl dem Fortschreiten der Kurzsichtigkeit Einhalt thun können. Die oben besprochenen theoretischen Anschauungen führen hier zum Teile zu einander direkt entgegengesetzten Ergebnissen, deren Konsequenzen für die Praxis von einschneidender Bedeutung sind. Die Anhänger der Hypothese von dem schädlichen Einflusse der Akkommodation auf die Entwicklung der Myopie trachten folgerichtig, um deren Fortschreiten zu verhüten, jede, auch die geringste Akkommodationsanstrengung zu verhüten. Sie verordnen prinzipiell möglichst schwache Gläser und lassen die Kurzsichtigen, soweit möglich, in der Nähe überhaupt ohne Glas arbeiten. Die Anhänger der Convergenzhypothese, bezw. einer jeden Hypothese, die in dem Drucke der äußeren Augenmuskeln einen die Myopieentwicklung besonders ungünstig beeinflussenden Umstand sehen, werden im allgemeinen starke Gläser verordnen, damit die Patienten in möglichst großem Abstande lesen und schreiben und möglichst wenig in Versuchung kommen können, zu konvergieren.

Die Neigung, zu schwache, die Kurzsichtigkeit nicht voll korrigierende Gläser zu verordnen, ist heute noch weit verbreitet, wenn auch nicht mehr

in so hohem Maße wie früher. Mauthner vertrat nach Beobachtungen an seinen eigenen Augen die Meinung, dass das »Tragen der neutralisierenden Brille das Signal für eine geringe Zunahme der Myopie sei,« die nicht mehr wachse, so lange das Glas nicht gewechselt werde, aber rasch wieder eine geringe Zunahme erfahre, sowie dies letztere geschehe. Er meint, dass infolge des Tragens des Korrektionsglases ein leichter Akkommodationskrampf eintrete, »der sich dann in wirkliche Myopie umsetze«. Die gegen eine solche Ansicht zu erhebenden Bedenken sind oben ausführlich besprochen.

Auch Javal hält die Gefahr des Akkommodierens für so groß, dass er empfahl, Patienten mit beginnender Myopie Konvexgläser tragen zu lassen; doch hat sein Vorschlag meines Wissens, wenigstens in Deutschland, wenig Anklang gefunden. Ebenso ist Tscherning der Meinung, dass man bei Kurzsichtigen die Akkommodation möglichst einschränken oder ganz ausschließen solle, und giebt daher nur solche Konkavgläser, die den Fernpunkt in einen Abstand von 33 cm verlegen, damit die Arbeit in der Nähe ohne Akkommodation möglich sei. Die Ausschaltung der Akkommodation durch wochenlange Lähmung des Ciliarmuskels, die früher so sehr beliebten Atropinkuren, werden heute wohl nur noch wenig angewendet.

Die Anhänger der anderen Hypothese über die Entstehung der Kurzsichtigkeit treten im allgemeinen für eine möglichst vollständige Korrektion der Myopie ein. Wie schon Donders der Meinung war, dass die Myopie eines Auges entschieden weniger progressiv sei, wenn es frühzeitig die voll korrigierenden Gläser trage, so begegnen wir insbesondere in den letzten 20 Jahren bei einer größeren Reihe von Forschern der Anschauung, dass man bei den Kurzsichtigen nach Möglichkeit zu schwache Gläser vermeiden solle, da man durch solche viel eher schaden könne, als durch zu starke. So nannte (1883) Paulsen die Brille »das beste Prophylacticum gegen das Fortschreiten der Myopie«. In nachdrücklicher Weise hat zuerst Förster die Bedeutung hervorgehoben, welche eine Verminderung der Convergenz der Sehachsen durch vollkorrigierende Gläser auf das Fortschreiten der Myopie haben könne. Freilich kann gegen die von ihm angeführten 51 Fälle, wo die Kurzsichtigkeit beim Tragen starker, zum Teil überkorrigierender Brillen nicht fortschritt, der Einwand gemacht werden, dass dies zufällig ohnehin nicht progressive, sondern mehr oder weniger stationäre Myopieformen gewesen seien. Wir besitzen eben noch keine genügenden Anhaltspunkte, um zu entscheiden, ob ein eben untersuchtes Auge stationär oder progressiv kurzsichtig ist. Doch bleibt es ein großes Verdienst Förster's, mit einer Reihe sorgfältiger Beobachtungen dem Dogma von der Schädlichkeit der starken Konkavgläser erfolgreich entgegengetreten zu sein. Ähnliche Anschauungen haben nach ihm Stilling, Dor, Priestley Smith, Cuignet, Hess, Heine, Pfalz, in Amerika Jackson, Harlan und viele andere vertreten.

Dor hat 2145 Kurzsichtige vollkorrigiert. Unter 68 Patienten, die er längere Zeit verfolgen konnte, vermochte die volle Korrektion bei 28 das Fortschreiten der Myopie nicht zu verhindern, aber die beobachtete Zunahme fasst Dor nur als Folge physiologischen Wachstums auf. In 26 Fallen blieb die Myopie stationär, in 17 nahm sie ab. Dor glaubt auch einen günstigen Einfluss der vollen Korrektion auf die Sehschärfe wahrgenommen zu haben. Risley hat (1895) eine ausgedehnte Statistik mitgeteilt, aus der er schließt, dass die hohen Grade der Kurzsichtigkeit mit der Brillenbehandlung abgenommen hatten und dass auch der Procentsatz der Myopie überhaupt ein kleinerer geworden sei. Pfalz kommt auf Grund statistischer Zusammenstellungen auf rein empirischem Wege dazu, die Myopie thunlichst voll zu korrigieren. Er findet bei für die Nähe vollkorrigierten Augen in 3,3 Jahren eine durchschnittliche Zunahme der Myopie um 0,14—0,17 D., bei nicht für die Nähe korrigierten Augen in 4 Jahren eine Zunahme um 1,45—1,91 D., bei teilweise auch für die Nähe korrigierten Augen in 2,5 Jahren eine durchschnittliche Zunahme um 1,23—1,32 D. Zu ähnlichen Ergebnissen sind in der letzten Zeit auch Chevallereau (1902) und Vacher gekommen. Dass man durch die volle Korrektion die Progression der Myopie allgemein werde aufhalten können, wie hier und da geglaubt wird, ist nicht wohl anzunehmen.

Das Vorurteil von der schädlichen Wirkung starker Brillen ist nicht nur unter Laien, sondern auch unter Fachgenossen heute trotz der angeführten Untersuchungen noch sehr verbreitet. Nach meiner Meinung lassen sich triftige Gründe gegen das Tragen vollkorrigierender Brillen bei niederen und mittleren Myopiegraden nicht mehr vorbringen, seitdem der Nachweis erbracht ist, dass die Akkommodationsthätigkeit ohne Einfluss auf die Höhe des intraocularen Druckes ist. Es dürfte auch schwer fallen, klinische Beobachtungen beizubringen, welche einen solchen schädlichen Einfluss auch nur wahrscheinlich machen könnten. Andererseits wissen wir aus zahllosen Erfahrungen, dass das Tragen zu schwacher, nicht voll korrigierender Brillen oder gar der völlige Verzicht auf solche sicher nicht imstande ist, das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit zu verhindern; manche Beobachtungen machen es sogar wahrscheinlich, dass hierdurch der Prozess ungünstig beeinflusst wird. Man wird danach, selbst wenn es nicht möglich ist, dem Fortschreiten der Myopie durch die vollkorrigierenden Gläser Einhalt zu thun, die Verordnung solcher doch der unvollständigen Korrektion vorziehen, soweit nicht im einzelnen Falle besondere Gründe dagegen sprechen. Dass auf gleichzeitig vorhandene Insufficienz u. s. w. bei der Brillenverordnung entsprechend Rücksicht zu nehmen ist, versteht sich von selbst. (Vgl. Abschnitt XII.)

Verschiedene Umstände können Anlass geben, von der allgemeinen Regel abzugehen.

Bei niederen und mittleren Graden der Kurzsichtigkeit (bis zu 6—8 Dioptrien) kann man etwa bis zum 45. Jahre die vollkorrigierenden Gläser verordnen. Sie werden in der Mehrzahl der Fälle gut vertragen, wenn

auch in den ersten Tagen oft über ein gewisses Unbehagen geklagt wird, das zum Teile auf die ungewohnte Schärfe der Netzhautbilder, zum Teile auf die geänderten Beziehungen zwischen Convergenz- und Akkommodationsgröße zurückzuführen sein dürfte. Ferner kommen beim Tragen gewöhnlicher Konkavgläser auch die Störungen in Betracht, die durch den Astigmatismus bei schrägem Durchsehen durch die Gläser bedingt sind; diese können meist durch periskopische Gläser mehr oder weniger vollständig beseitigt werden. In der Regel sind die genannten Störungen schon nach wenigen Tagen geschwunden und die Brille wird dann dauernd ohne Beschwerde getragen. (Von großer Bedeutung ist auch, dass durch die vollkorrigierenden Gläser in vielen Fällen die sogenannte »Insufficienz der Convergenz« und die dadurch hervorgerufenen Störungen verringert oder vollständig aufgehoben werden können.)

Jenseits des 40.—45. Jahres wird man selbstverständlich das vollkorrigierende Glas nicht mehr zur Nahearbeit tragen lassen können, sondern für die Nähe der Abnahme der Akkommodationsbreite entsprechend schwächere Gläser geben, die nach den für die Presbyopie maßgebenden Gesichtspunkten zu verschreiben sind. Bei höheren Graden von Myopie als 8 oder 9 Dioptrien findet man zuweilen einen ausgesprochenen Widerwillen gegen vollkorrigierende Gläser, der auch bei längerem Tragen nicht überwunden wird. Man wird dann zu dauerndem Gebrauche schwächere Gläser verordnen, auf deren Wahl des Patienten Stellung, Thätigkeit, Alter u. s. w. von Einfluss sein müssen, so dass allgemeine Regeln kaum aufzustellen sind. Nicht selten gewöhnen sich übrigens auch bei hohen Myopiegraden die Patienten an die volle Korrektion und haben dann von einer solchen wesentliche Vorteile. Gläser von mehr als 12—14 Dioptrien werden zum dauernden Tragen weniger häufig in Anwendung kommen, wohl aber, etwa als Kombination von Brille und Klemmer, zu vorübergehender Besserung des Sehens in die Ferne.

(In manchen Fällen kann hochgradig Kurzsichtigen eine nach dem Prinzip der stenopäischen Lücke wirkende Brille gute Dienste thun. So hat Heilborn eine »Radienbrille« empfohlen, bei welcher in einer Metallplatte zahlreiche kleine Löcher in radiärer Anordnung ausgeschlagen sind. Eine ähnliche »Siebbrille« hat Roth mit Erfolg bei Keratoconus, unregelmäßigem Astigmatismus und bei Kernstar tragen lassen.)

§ 139. **Operative Behandlung der Myopie.** Dass hochgradig kurzsichtige Augen nach Entfernung der getrübten Linse ohne Gläser häufig ein sehr gutes Sehvermögen haben, ist seit bald zwei Jahrhunderten bekannt und wurde schon von Boerhave (1708) richtig erklärt mit den Worten: »Lente suppressa focus in puncto a cornea remotiori figitur, ut in retinam ipsam incidat, qui antea ante retinam colligebatur«. Woolhouse schreibt

im Jahre 1707, dass Kurzsichtige, die vor ihrem 55.—60. Jahre an Star operiert wurden, keine Konvexgläser nötig haben. Die Extraktion der klaren, nicht getrübten Linse zur Beseitigung der Kurzsichtigkeit scheint zuerst von Abée Desmonceaux 1776 erörtert worden zu sein. Janin hatte, wie es scheint auf Desmonceaux's Anregung hin, schon 1772 die Operation öfter ausgeführt. Haller erwähnt bei Besprechung einer im Jahre 1755 erschienenen Abhandlung von Higgs, dass dieser »Myopiam depressa lente crystallina curavit«. In Deutschland hat zuerst Richter 1790 die Operation warm befürwortet, doch ist nicht sicher, ob er sie auch wirklich ausgeführt hat. Später wurde die Frage, ob der Eingriff thunlich sei oder nicht, oft ventiliert: Desmoulins befürwortete ihn, Beer, der keine eigene Erfahrung über den Gegenstand hatte, spricht sich sehr vorsichtig aus. Im Jahre 1822 sagt Weller: »Ich glaube nicht, dass sich jemand zu einer solchen Kur entschließen wird, indem für das ganz sichere Gelingen der Operation doch niemand einstehen kann«. Bei Benedict (1822—25) finden wir eine sehr ausführliche Erörterung und sorgfältige Indikationsstellung für den operativen Eingriff. Von Radius wurde 1839 die Entfernung der klaren Linse aus dem kurzsichtigen Auge empfohlen und als Operationsmethode zum ersten Male die Discission vorgeschlagen, während bis dahin fast allgemein die Extraktion der Linse geübt worden war; 1841 soll, nach einer Angabe von Reymond, Sperino die Extraktion der Linse wegen Kurzsichtigkeit ausgeführt haben; 1858 berichteten in Heidelberg A. Weber und Mooren über gute Erfahrungen bei Beseitigung der Linse aus dem kurzsichtigen Auge, doch wurde das Verfahren, da v. Graefe und Donders dasselbe nachdrücklich bekämpften, in den nächsten 30 Jahren nur vereinzelt ausgeführt, so von Coppez (1867), von Wicherkiewicz (1881), von Smith in Chicago (1880). Vom theoretischen Standpunkte befürwortete 1876 Mauthner die Operation mit den Worten: »Wüsste ich eine Staroperation, die z. B. so ungefährlich wie eine Iridektomie wäre, so würde ich dieselbe unbedingt allen höchstgradigen Kurzsichtigen anraten«.

Eine Hauptgefahr bestand in der vorantiseptischen Zeit in dem Auftreten einer Infektion. Durch die Antisepsis ist diese Gefahr verschwindend klein geworden und wohl wesentlich deshalb hat der erneuerte Vorschlag von Fukala (1889) und von Vacher (1890), nachdem er anfänglich lebhaftem Widerstande begegnet war, später vielen Beifall und die Entfernung der klaren Linse in den letzten 10 Jahren große Verbreitung gefunden.

Unter den Einwänden gegen die prinzipielle Berechtigung der Operation ist der häufig erhobene, dass der Patient durch diese seines Akkommodationsvermögens verlustig gehe, schon deshalb nebensächlich, weil die höhergradig Kurzsichtigen, soweit sie ohne Glas sehen, ja keinen Anlass zum Akkommodieren und auch keinen nennenswerten Vorteil davon haben.

denn ihr dicht am Auge gelegenes Akkommodationsgebiet ist beim Sehen ohne Gläser sehr klein.

Viel gewichtiger ist der Einwand, dass durch die Operation möglicherweise die Gefahr einer Netzhautablösung größer werden könne. Die Frage nach dem Vorkommen von Netzhautablösung nach Entfernung der Linse ist von größter praktischer Bedeutung, denn es wird nach meiner Meinung unstatthaft sein, die Operation vorzunehmen, sobald mit Sicherheit nachgewiesen ist, dass die Beseitigung der Linse in dieser Hinsicht ungünstig wirkt. Eine völlig sichere Antwort auf diese Frage wird nur schwer zu erhalten sein: Wenn in einem operierten Auge Netzhautablösung auftritt, so wird man leicht geneigt sein, die Operation anzuschuldigen; aber bei der Häufigkeit des Vorkommens von Netzhautablösung gerade in den höchstgradig kurzsichtigen Augen liegt die Möglichkeit nahe, dass der Eintritt der Ablösung von der Operation unabhängig ist und auch ohne diese erfolgt wäre.

Otto berichtet von einer jungen Patientin mit hochgradiger Kurzsichtigkeit, bei der die Discission der Linse einige Wochen nach der ersten Untersuchung vorgenommen werden sollte. Kurz vor dem zur Operation festgesetzten Termine trat Netzhautablösung auf. In meiner Klinik kam folgender Fall zur Beobachtung: Ein Patient mit beiderseitiger hochgradiger Kurzsichtigkeit und einseitiger Netzhautablösung stellte sich wegen seines zweiten, noch sehtüchtigen Auges vor; von einem operativen Eingriffe wurde mit Rücksicht auf die Netzhautabhebung des ersten Auges abgesehen: wenige Wochen später trat eine solche auch am zweiten auf. Wäre in diesen Fällen, welchen leicht ähnliche zur Seite gestellt werden könnten, eine Operation vorgenommen worden, so hätte man wohl sicher diese für die Ablösung verantwortlich gemacht.

Von verschiedenen Augenärzten wird der Entfernung der Linse geradezu eine Schutzwirkung gegen das Auftreten von Netzhautablösung zugeschrieben, am nachdrücklichsten von Vacher, der die Operation aus prophylaktischen Gründen empfiehlt. Wenn er aber als Stütze für seine Auffassung Fälle von hochgradiger doppelseitiger Kurzsichtigkeit anführt, wo nach einseitiger Operation im späteren Verlaufe Netzhautablösung am nicht operierten Auge auftrat, so sind mir andererseits Fälle bekannt, in welchen nach der einseitigen Operation nur das operierte Auge an Netzhautablösung erkrankte. Einer unserer ersten Kollegen erzählte mir von einem jungen Manne, bei welchem nach der anderwärts vorgenommenen beiderseitigen Entfernung der Linse an beiden Augen totale Netzhautablösung auftrat. Auch aus den genauen Angaben von Fröhlich, v. Hippel u. a. geht hervor, dass der Operation eine Schutzwirkung weder gegen Netzhautablösung, noch gegen das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit zukommt. Es sind wiederholt u. a. von Parinaud Fälle mitgeteilt worden, wo nach der Staroperation in jugendlichem Alter sich später in dem betreffenden Auge eine hochgradige Dehnung des hinteren Abschnittes mit den bekannten Veränderungen in der Macula, bezw. mit Netzhautablösung entwickelte. Dagegen berichtet Voigt

aus der SATTLER'schen Klinik, dass ein weiteres Fortschreiten der Myopie in den operierten Augen nicht nachgewiesen werden konnte.)

Der einzige Weg, um eine einigermaßen befriedigende Antwort auf diese wichtige Frage zu erhalten, ist der einer statistischen Untersuchung über die Häufigkeit der Netzhautablösungen in nicht operierten und in operierten myopischen Augen. Eine sorgfältige Statistik dieser Art hat zuerst OTTO aufgestellt mit dem Ergebnisse, dass die Netzhautablösung in den operierten Augen nicht seltener, aber auch nicht häufiger vorkomme, als in den nicht operierten.

FRÖHLICH schließt aus seiner Statistik, dass der Procentsatz der postoperativen Netzhautablösungen größer sei, als jener der spontanen in hochgradig kurzsichtigen Augen (3,3 % gegen 1,25 %). Noch ungünstiger für den operativen Effekt als die FRÖHLICH'sche ist eine Statistik von FISCHER (1899), wonach der Procentsatz der Ablösungen für nicht operierte Myopische nur 0,5 % betrage, für operierte dagegen im ersten Jahre nach der Operation 5,5 %.

Dagegen findet v. HIPPEL auf Grund einer sorgfältigen Zusammenstellung seines Materials es wahrscheinlich, »dass hochgradige Myopen bei technisch zweckmäßiger und vorsichtiger Ausführung der Operation die Netzhautablösung nicht wesentlich mehr zu fürchten haben, als ohne solche«. Zu ähnlichem Ergebnisse kommt VOIGT für die SATTLER'schen Operationen (1902).

Die VACHER'sche Auffassung von der Schutzwirkung der Extraktion scheint auch mir nicht zutreffend. Ich halte bei strenger Auswahl der geeignet scheinenden Fälle den Eingriff wohl für berechtigt, wenngleich wir immer die Möglichkeit mit in Kauf nehmen müssen, dass einzelne der operierten Augen später an Netzhautablösung erkranken. Von wesentlicher Bedeutung dürfte die Wahl der Operationsmethode sein. Das Auge kann nach der Operation etwa durch Drucksteigerung infolge von Linsenquellung oder durch starke Glaskörperverluste bei der Nachoperation oder durch direkte Verletzung des Glaskörpers bei der Operation selbst (Durchschneidung der ganzen Linse) geschädigt werden, und es ist wohl denkbar, dass ein solches nachträglich leichter erkrankt, als ein mit glattem Heilungsverlaufe und ohne Glaskörperverlust oder -Verletzung operiertes Auge. Insbesondere wird der Einheilung von Glaskörper in die Hornhautwunde von verschiedenen Seiten, wie mir scheint mit Recht, ein schädlicher Einfluss zugeschrieben. Auch zwei von mir nach der Myopieoperation beobachtete Fälle von Netzhautablösung betrafen solche Augen mit Glaskörpereinheilung. Mit Recht wird daher eine möglichste Schonung des Glaskörpers als besonders wichtig bezeichnet (ROGMAN u. a.).

§ 140. Die Technik der Operation ist somit von größter Bedeutung. Für den operativen Eingriff zur Beseitigung der Linse kommen wesentlich

zwei Verfahren in Betracht: Die Discission (mit oder ohne nachfolgende Extraktion oder Suktion) oder die sofortige Extraktion der Linse. Das letztere, bis zum Jahre 1839 ausschließlich geübte Verfahren war durch die Einführung der Discission (Radius) fast vollständig verdrängt worden. Auch gegenwärtig wird von vielen deutschen Operateuren nur die Discission der Linse geübt. Dagegen empfiehlt Vacher die sofortige Extraktion der Linse ohne Iridektomie mittels peripheren Bogenschnittes (also wie beim Altersstar). Ich selbst habe im Laufe der letzten 5 Jahre (bei Personen diesseits des 40. Jahres) häufig die Extraktion mittels Lanzenschnittes vorgenommen. Nach meinen Erfahrungen, die sich auch auf zahlreiche Discissionen erstrecken, möchte ich dieser Methode entschieden den Vorzug vor der Discission geben: Nicht nur wird in der Mehrzahl der Fälle das Heilverfahren wesentlich abgekürzt, sondern es ist im allgemeinen der Verlauf wesentlich glatter und leichter. In manchen Fällen genügt ein einziger Eingriff zu vollständiger Entfernung der Linse. In anderen Fällen ist nach 2—4 Wochen eine kleine Nachstaroperation, meist nur Discission, selten Linearextraktion nötig. Länger dauernde Reizerscheinungen wurden nach dem Eingriffe selten, Drucksteigerungen niemals beobachtet, während ich früher, nach den Discissionen, solche öfter in bedrohlichem Grade auftreten sah. Vordere Synechien habe ich verhältnismäßig selten beobachtet. Ich gehe bei jugendlichen Kranken mit der Lanze, bei älteren mit dem Graefeschen Messer im Limbus corneae ein und lege den Schnitt so, dass die innere Hornhautwunde wesentlich kleiner ist, als die äußere. Zu dem Zwecke führe ich bei Benutzung der Lanze diese nicht parallel zur Irisebene ein, sondern so, dass die Spitze der Lanze etwas gegen die Kuppe der Cornea gerichtet ist. Die innere Wundlippe bildet dann gewissermaßen eine Klappe, die einem Irisprolaps einigermaßen vorzubeugen geeignet ist. Die vordere Kapsel eröffne ich entweder mit der Lanze selbst oder mit der Kapselpinzette. Die Linsenmassen lassen sich bei geeigneter Größe des Schnittes leicht und in großer Menge entfernen. Auch Sattler und Schreiber haben mit dieser Methode, die früher in ähnlicher Weise auch von Weber empfohlen wurde, gute Erfahrungen gesammelt. (Weber und Sattler geben der Hohllanze den Vorzug vor der gewöhnlichen.) Sie kann ebenso gut in etwas vorgerückterem wie im jugendlichen Alter vorgenommen werden, wenn der Schnitt dem Alter entsprechend größer angelegt wird, und lässt sich meist ohne Glaskörperverlust ausführen; Irisvorfall kommt sehr selten vor. (Was die Konsistenz des Linsenkernes angeht, so kann ich v. Hippel's Angabe nicht bestätigen, wonach in den excessiv myopischen Augen der Sclerosierungsprozess in der Linse entweder viel später sich entwickeln oder ganz ausbleiben soll. Er fand bei 50- und 55 Jährigen »auch nicht die Andeutung eines Kernes«.

Gegen dieses Verfahren der Extraktion der Linse aus dem kurzsichtigen Auge ist eingewendet worden, es könne Verluste bringen, da in verschiedenen Fällen (Fukala, Valude, de Wecker, Reich, König und Axenfeld) danach Netzhautablösungen auftraten. Unter 43 von Axenfeld operierten Augen wurde nur in dem einzigen nach der hier geschilderten Methode operierten Auge Ablösung beobachtet, unter 3 von Fukala so Operierten einmal. Wenn man nun daraufhin die Bemerkung gemacht hat »gerade in diesen Fällen ist doch die allergrößte Vorsicht am Platze«, so ist hervorzuheben, dass eben der Wunsch, möglichst vorsichtig zu operieren, zu dem Verfahren geführt hat, das meist durch einen oder zwei Eingriffe, ohne die Gefahren der Linsenquellung, der sekundären Drucksteigerung und der häufigen Wiederholung des Eingriffes das Ziel erreichen lässt. Nach meinen und den Erfahrungen Anderer ist die Netzhautablösung bei diesem Verfahren auch nicht häufiger als bei den anderen Methoden. Man hat gesagt, die schwerere Entbindung der Linse könne zu Sprengung der tellerförmigen Grube, zu Zerreißung der Zonula und Glaskörpervorfall mit seinen Folgen führen; solches kann aber wohl nur einem ungeschickten Operateur vorkommen. Bei richtig geführtem Schnitte erfolgt die Entbindung der Linse leicht und ohne Quetschung.

Voigt (1902)[1] kommt an der Hand des Sattler'schen Materiales zu dem gleichen Ergebnisse, dass der primären Extraktion der Vorzug vor der Discission zu geben sei, da sie eine größere Schonung des Glaskörpers gestatte, weniger Eingriffe nötig und Drucksteigerungen seltener seien.

§ 141. Bei Stellung der Indikation zur Myopieoperation ist zunächst zu ermitteln, von welchem Kurzsichtigkeitsgrade an der operative Eingriff zulässig ist.

Die günstigsten Verhältnisse bieten jedenfalls diejenigen Fälle, bei welchen nach Beseitigung der Linse angenähert Emmetropie oder leichte Myopie vorhanden ist.

Ich verweise bezüglich der Refraktionsänderung durch Entfernung der Linse aus dem hochgradig kurzsichtigen Auge auf den Abschnitt Aphakie und führe hier nur kurz die für unsere Erörterungen wichtigsten Thatsachen an. Rechnung und Beobachtung zeigen übereinstimmend, dass ein emmetropisches Auge nach Verlust der Linse (bei gleichbleibendem Hornhautradius) durch ein Glas von 10—11 Dioptrien für die Ferne korrigiert wird, dass dagegen ein kurzsichtiges Auge, das durch ein Glas von 18—20 D. korrigiert ist, nach Beseitigung der Linse emmetropisch wird. Der scheinbare Verlust an Brechwert ist also im zweiten Falle viel größer, als im ersten. Die Thatsache ist seit 25 Jahren bekannt und aus den von O. Becker u. a. gegebenen Tabellen unmittelbar abzulesen. Ihre Nichtberücksichtigung hat in neuerer Zeit verschiedene Forscher zu der Annahme verleitet, dass der anscheinend größere »Verlust an Brechkraft« bei Entfernung der Linse aus einem hochgradig kurzsichtigen Auge auf einen höheren Brechungsindex der Linse des letzteren zu beziehen sei. Die Irrigkeit dieser Ansicht ist durch Eperon, Schön, Stadtfeld u. a., in sehr einfacher und übersichtlicher Weise von Ostwald, Hirschberg und Salzmann dargethan worden.

Den thatsächlichen Beweis dafür, dass die Brechkraft der Linse im kurzsichtigen Auge keine andere ist, als im emmetropischen, hat Heine durch Bestimmung der Brechungsindices der aus hochgradig kurzsichtigen Augen extrahierten Linsen erbracht. Übrigens sei darauf hingewiesen, dass die Annahme eines solchen gleich großen Brechungsindex in gewissem Sinne die Voraussetzung zur Operation bildet. Denn wenn der Index der Linse im kurzsichtigen Auge ein wesentlich anderer wäre, als im emmetropischen, so könnte man das Ergebnis des Eingriffes nicht genügend vorausbestimmen, um zu letzterem berechtigt zu sein.

Diejenigen kurzsichtigen Augen also, die durch — 18 bis 20 Dioptrien korrigiert werden, haben nach Entfernung der Linse emmetropische Refraktion und bieten somit die günstigsten Bedingungen für den operativen Eingriff. Es ist die Frage, ob Kranke mit geringeren Graden von Myopie, etwa solche, die durch — 14 bis 17 Dioptrien korrigiert, also nach Entfernung der Linse leicht hypermetropisch werden, noch Vorteil von der Operation haben. Sie müssen nach derselben für Ferne und Nähe Gläser tragen, während sie vorher in größerer Nähe ohne Gläser und (bei genügender Akkommodation) mit einem und demselben Konkavglase in der Ferne und Nähe sehen konnten. Diesem Nachteile steht einmal der Vorteil gegenüber, dass für viele Patienten das Sehen in die Ferne mit schwachen Konvexgläsern viel weniger störend ist, als das Sehen mit starken Konkavgläsern, zweitens aber der wesentliche Gewinn, dass die Netzhautbildgrößen unter diesen Verhältnissen durch Entfernung der Linse nicht unwesentlich zunehmen (s. u.).

Es ist nicht wohl möglich, allgemein gültige Regeln für die Vornahme der Operation in diesen Grenzfällen aufzustellen, vielmehr muss von Fall zu Fall, unter genauer Berücksichtigung der individuellen Verhältnisse, des Alters, der Berufsthätigkeit u. s. w. erwogen werden, ob für den Patienten die aus Beseitigung der Linse erwachsenden Vorteile die Nachteile überwiegen. Als unterste zulässige Grenze für die Operation bei völlig klarer Linse möchte ich eine durch etwa — 14 Dioptrien korrigierte Myopie bezeichnen. Auch hier aber werden wir uns nur ausnahmsweise (z. B. bei jungen Leuten mit rasch zunehmender Kurzsichtigkeit) zu dem Eingriffe entschließen. Bei Kurzsichtigkeit von mehr als 18 Dioptrien bietet diese an sich keine Kontraindikation gegen den Eingriff. Bei Myopie von 20 bis 30 Dioptrien bleibt nur ein geringer Grad von Kurzsichtigkeit nach Entfernung der Linse zurück, der Patient hat also einen verhältnismäßig großen Vorteil von dem Eingriffe.

Der zweite wichtige Punkt bei der Indikationsstellung ist das Verhalten der Netzhaut. Im allgemeinen werden wir nur dann operieren, wenn das foveale Netzhautgebiet verhältnismäßig wenig verändert und die Sehschärfe dementsprechend gut ist. Die Frage, welchen Grad von Sehschärfe wir

noch als genügend bezeichnen können, ist schwer zu entscheiden. Die Erfahrung hat mir gezeigt, dass solche Fälle, in welchen ohne Glas Jäger Nr. 1 oder 2 in geringem Abstande vom Auge gelesen werden kann, im allgemeinen gute Erfolge versprechen. Immerhin muss man sich gegenwärtig halten, dass, wenn nur Jäger Nr. 2 in einem Abstande von etwa 6 cm gelesen wird, dies nur einer Sehschärfe von etwa $^1/_8$ der normalen entspricht, man also nicht etwa annähernd normale Sehschärfe nach der Operation in Aussicht stellen darf. Wird bei klaren Medien nur größere Druckschrift in der Nähe gelesen, so ist eine ernste Anomalie der Netzhautfunktion wahrscheinlich und es muss berücksichtigt werden, dass der Patient den durch mangelhafte Sehschärfe bedingten Nachteil durch Annäherung der Objekte und entsprechende Vergrößerung des Netzhautbildes einigermaßen ausgleichen kann, was nach Entfernung der Linse nur mit stärkeren Konvexgläsern würde erreicht werden können. Auch hierbei lassen sich nicht wohl allgemein gültige Regeln aufstellen. Von manchen Seiten werden z. B. gröbere Netzhautveränderungen als Kontraindikation gegen die Operation bezeichnet, während andere glauben, dass eben solche Veränderungen durch die Beseitigung der Linse günstig beeinflusst werden.

Drittens ist bei der Indikationsstellung das Verhalten nicht nur des zu operierenden, sondern auch des anderen Auges zu berücksichtigen. Ich operiere ein Auge nur dann, wenn das zweite keine ernsteren Sehstörungen zeigt. Netzhautablösung oder schwere Netzhautveränderungen in der Maculagegend des letzteren sind für mich eine Kontraindikation gegen den Eingriff am besseren Auge und werden es so lange bleiben, bis einwandfrei dargethan ist, dass der Linsenentfernung wirklich die von Vacher behauptete Schutzwirkung zukommt. Ebenso stehe ich von der Operation ab, wenn der Patient nur ein Auge hat.

Hertel und A. v. Hippel haben bei einigen Fällen im Verlaufe von $^1/_2$—$2^1/_2$ Jahren nach der Operation das Auftreten von Glaskörpertrübungen beobachtet, die eine merkliche Verschlechterung der Sehschärfe gegenüber der kurz nach vollzogener Linsenentfernung bestimmten zur Folge hatten; sie betonen mit Recht, dass auch dies bei der Indikationsstellung zu berücksichtigen ist.

Die Frage, ob bei beiderseits hochgradiger Myopie einseitig oder doppelseitig zu operieren sei, wird verschieden beantwortet. Nimmt man eine Operation beider Augen vor, so wird es jedenfalls zweckmäßig sein, zwischen der Operation des ersten und der des zweiten Auges einen längeren Zeitraum verstreichen zu lassen. Durch die einseitige Operation ist der Vorteil erreicht, dass der Kranke das operierte Auge für die Ferne, das linsenhaltige für die Nähe benutzen kann und manche Patienten sind mit diesem Ergebnisse schon sehr zufrieden. Viele schlagen aber die bei der ersten Operation gewonnenen Vorteile so hoch an, dass sie zu einem Eingriffe am zweiten

Auge drängen. Die hochgradige Anisometropie nach einseitiger Operation macht nach meinen bisherigen Erfahrungen meist nur vorübergehend Störungen, doch fehlt in der Regel ein gutes binoculares Sehen. Ich selbst pflege nur ein Auge zu operieren.

Die Frage, ob die Beseitigung der Linse auf das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit einen Einfluss hat, wird sich erst nach längerer Beobachtungsdauer an einer großen Zahl geeigneter Fälle bestimmt beantworten lassen. Dass der von vielen Seiten behauptete Wegfall der Akkommodation hier als günstiges Moment in Betracht kommen könne, muss in Abrede gestellt werden, denn es sind durch Beseitigung der Linse ja nur die an letzterer bei der Ciliarmuskelkontraktion auftretenden Formveränderungen eliminiert. Die Ciliarmuskelkontraktion selbst aber wird im aphakischen Auge bei jeder Convergenz im wesentlichen ähnlich auftreten, wie im linsenhaltigen. Wohl aber wäre ein günstiger Einfluss der Linsenentfernung dadurch denkbar, dass die Kranken in größerem Abstande zu lesen, schreiben und arbeiten imstande sind, dass also die Notwendigkeit, stark zu konvergieren und damit einer der von uns als besonders schädlich angesehenen Faktoren wegfällt. Da aber, wie wir sahen, manche Kurzsichtigkeit auch ohne Nahearbeit fortschreitet, so wird für diese Formen aus der Minderung der Convergenz nicht viel Vorteil erwachsen.

Scheffels findet, dass in 8 von 10 Fallen die Operation keinen Einfluss auf den Stillstand des Langenwachstums hatte; bei jugendlichen Individuen, zumeist zwischen 8 und 18 Jahren (einem 31 Jahrigen), konstatierte er während der 2—4 der Operation folgenden Jahre eine Refraktionszunahme von 0,5 bis 2,0 Dioptrien. Ein Patient von de Haas war mit 23 Jahren bei einer Myopie von 13 Dioptrien mit Linearschnitt und Iridektomie) wegen Katarakt extrahiert worden. Er war dann noch 26 Jahre in Beobachtung; die Sehschärfe ging auf die Hälfte der nach der Operation festgestellten zurück, in der Macula traten alle die bei hochgradiger Myopie beobachteten Veränderungen auf.

Keinenfalls darf man nach dem Gesagten dem hochgradig Kurzsichtigen die Linsenentfernung als eine ganz harmlose und ungefährliche Operation hinstellen; ich operiere keinen Kranken, ohne ihn auf die möglichen Komplikationen ausdrücklich hingewiesen zu haben.

§ 142. Auch für die Berechnung der Änderung der Sehschärfe durch Beseitigung der Linse verweise ich auf den Abschnitt »Aphakie«. Das Ergebnis ist kurz folgendes:

Für ein durch Achsenverlängerung kurzsichtiges, nach Entfernung der Linse ohne Glas auf unendliche Entfernung eingestelltes Auge ist ceteris paribus bei Ermittelung nach der üblichen Prüfungsweise eine 1,5 mal größere, als die absolute Sehschärfe vor der Operation zu erwarten. Mit ziemlich großer Annäherung gilt dies auch dann noch, wenn das Auge

nach Entfernung der Linse zum Sehen in die Ferne ein schwaches Konvex- oder Konkavglas nötig hat, das im üblichen Abstande von ca. 13 mm vor der Hornhaut sich befindet.

Bei diesen Berechnungen ist sowohl auf eine Änderung der Pupillenweite durch die Operation, wie auf Änderung der Lage und Größe der Eintrittspupille durch die verschiedenen vorgesetzten Gläser keine Rücksicht genommen; dieser Einfluss ist im allgemeinen von verhältnismäßig nebensächlicher Bedeutung.

In der Litteratur ist mehrfach angegeben, dass die Sehschärfe des Auges nach Entfernung der Linse auf das Doppelte und Dreifache der früheren und noch mehr gestiegen sei. Auf Grund dieser Angaben haben einzelne Forscher die Vermutung ausgesprochen, dass diese Steigerung nicht ausschließlich auf Zunahme der Bildgröße, sondern auch auf eine Zunahme der Leistungsfähigkeit der Netzhaut zu beziehen sei. Eine endgültige Beantwortung dieser prinzipiell wichtigen Frage ist auf Grund der bisher bekannten Thatsachen noch nicht möglich, da bei den betreffenden Mitteilungen vielfach die nötigen Angaben über den Abstand der zur Korrektion benutzten Gläser vom Auge u. s. w. fehlen. Bei den hohen Graden von Kurzsichtigkeit, um die es sich hier handelt, ist aber dieser Umstand von beträchtlichem Einflusse auf die gefundene Sehschärfe. Wenn z. B. eine auf den Hauptpunkt bezogene Myopie von 20,5 Dioptrien durch ein 25 mm vor dem Hauptpunkte befindliches Glas korrigiert und $S_{\prime\prime} = 1$ gesetzt würde (s. § 82), so ergäbe sich eine (relative) Sehschärfe von 0,49, während die absolute Sehschärfe des aphakischen Auges = 1,03 ist. Würde das korrigierende Glas des im aphakischen Zustande noch um 5 Dioptrien kurzsichtigen Auges dicht vor die Hornhaut, etwa 3 mm vor deren Scheitel, gesetzt, so wäre dazu ein Glas von — 5,07 Dioptrien nötig und die unter diesen Bedingungen gefundene Sehschärfe des aphakischen Auges wäre = 1,14. Wenn die Korrektion des linsenhaltigen Auges mit einem im vorderen Brennpunkte befindlichen Konkavglase erfolgt, so findet man die Sehschärfe des aphakischen Auges etwa 1,5 mal größer als vorher: dort aber würde sie mehr als doppelt so groß gefunden, als im linsenhaltigen Auge. Ferner ist darauf hinzuweisen, dass man bei Prüfung der Sehschärfe mit so starken Konkavgläsern leicht unrichtige Ergebnisse erhält, wenn der Patient nicht genau und senkrecht durch die Mitte des Glases sieht. Sieht er nur wenig excentrisch oder schräg durch das Glas, so kann die Sehschärfe dadurch wesentlich geändert werden. Meine eigenen Beobachtungen haben mir bisher keine sicheren Anhaltspunkte für die Annahme ergeben, dass durch Entfernung der Linse auch die Distinktionsfähigkeit der Netzhaut gesteigert worden wäre. Doch sind weitere genaue Untersuchungen unter strenger Berücksichtigung der besprochenen, hier in Betracht kommenden Umstände wünschenswert.

Die Voraussetzung, dass der myopische Prozess im wesentlichen auf eine Drucksteigerung zu beziehen sei, hat Dransart zu dem Versuche veranlasst, die Myopie durch druckvermindernde Mittel zu behandeln. Er hat (seit 1883 eine große Zahl von Kurzsichtigen mittels Iridektomie, Sklerotomie und allabendlichen Pilokarpineinträufelungen behandelt. Soweit mir bekannt, hat diese Therapie keine Anhänger gefunden.

§ 143. Die Myopieformen, die nicht durch Achsenverlängerung bedingt sind, mögen kurz als Krümmungs- bezw. Indexmyopie bezeichnet werden. Die Beziehungen zwischen der absoluten Sehschärfe des krümmungsmyopischen und jener des normalen Auges erhält man, wenn man den in Dioptrien ausgedrückten Kurzsichtigkeitsgrad mit 1,5 multipliziert: das Produkt giebt die Zahl der Procente an, um welche die absolute Sehschärfe des emmetropischen normalen Auges (S_e) größer ist, als die des krümmungsmyopischen (S_m). Für eine Krümmungsmyopie von 4, bezw. 8 oder 20 Dioptrien ist das Verhältnis der beiden Sehschärfen $\frac{S_e}{S_m} = 1{,}06$ bezw. 1,12 und 1,3.

Unter den nicht durch abnorme Achsenlänge bedingten Formen der Kurzsichtigkeit interessiert uns in erster Linie jene infolge zu starker Hornhautkrümmung.

Dass abnorm starke Krümmung der Cornea ein im übrigen normales Auge kurzsichtig machen muss, ist nach dem früher Gesagten klar. Einschlägige Fälle sind in der Litteratur mehrfach erwähnt. Meist handelt es sich um krankhaft veränderte Hornhäute, bei welchen die vermehrte Wölbung durch Narbenzug oder, wie bei Keratoconus, durch Herabsetzung der Widerstandsfähigkeit der Hornhaut veranlasst ist. Die Kasuistik bietet wenig von allgemeinerem Interesse. Wichtiger und interessanter ist die Frage, ob und inwieweit die Wölbung einer gesunden Hornhaut in einem normalen Auge auf die Refraktion des letzteren von Einfluss ist. Innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen hat für das schematische Auge eine Verkleinerung des Hornhautradius um 1 mm eine Refraktionserhöhung um angenähert 6 Dioptrien zur Folge. Donders fand bei 116 Messungen mit dem Helmholtz'schen Ophthalmometer den Hornhautradius in der Sehlinie:

bei Männern	in 27 Emmetropenaugen	= 7,785 mm
	in 25 Myopenaugen	= 7,874 »
	in 26 Hypermetropenaugen	= 7,96
bei Frauen	in 11 Emmetropenaugen	= 7,719 mm
	in 12 Myopenaugen	= 7,867
	in 15 Hypermetropenaugen	= 7,767

Durchschnittlich hatten also die Kurzsichtigen eine weniger stark gewölbte Hornhaut als die Emmetropischen und bei den höchsten Graden von Myopie wurde die Hornhaut am flachsten gefunden.

Mauthner findet sowohl bei Myopie als bei Hypermetropie den Radius im Mittel kleiner, als bei Emmetropie, dagegen nehme er bei hochgradiger Hypermetropie zu, bei hochgradiger Myopie ab. Im Gegensatz zu Donders vertritt Javal die Ansicht, dass im Mittel der Krümmungsradius bei Kurzsichtigen kleiner sei. Er bezeichnet dies sogar als eine bekannte Thatsache und sieht einen Beweis dafür in Messungen von Nordenson, der unter 452 Augen 90 myopische fand, bei welchen die mittlere Brechkraft der Hornhaut um 1 D. höher war, als die der 319 emmetropischen und der 63 hypermetropischen.

Stilling hat mit dem Ophthalmometer über 100 Augen von Leuten gemessen, welche während der Wachstumsperiode Kurzsichtigkeit erworben hatten, die seit Beendigung des Wachstums stationär geworden war. Seine Vermutung, dass die schwächeren Kurzsichtigkeitsgrade durch starke Hornhautkrümmung bedingt seien, bestätigte sich nicht; er fand bei schwachen Myopien bis zu 2 D. große Krümmungsradien, dagegen wurden allerdings bei den Myopien von 2—7 D. öfter kleinere, mitunter auffallend kleine Radien gefunden, die aber auch nicht unter das physiologische Maß herunter gingen. Aus diesem Grunde hauptsächlich hält Stilling die Tscherning'sche Einteilung in Arbeitsmyopie und in solche in sonst völlig gesunden Augen für unzutreffend.

Über ein sehr großes Beobachtungsmaterial verfügt Sulzer, der gleichfalls zu entgegengesetzten Ergebnissen kommt, wie Donders. Er bestimmte mit dem Javal'schen Ophthalmometer bei 1114 Augen die Brechkraft im schwächstbrechenden Meridian. Der Durchschnitt aus den Radien sämtlicher Hornhäute betrug 7,628 mm. Er fand, dass die Hornhäute der kurzsichtigen Augen stärker, dagegen die der hypermetropischen Augen weniger stark gekrümmt sind, als die der emmetropischen; unter den myopischen Augen fand er häufiger Hornhäute mit starker Krümmung, als unter den emmetropischen, insbesondere soll die Myopie von mehr als 6 D. mit stärkeren Krümmungsradien verbunden vorkommen. Unter den Hypermetropischen zeigte mehr als die Hälfte der Hornhäute eine geringere Krümmung als der Durchschnitt der emmetropischen Augen. Ebenso, wie früher Mauthner, giebt auch Sulzer an, eine Zunahme der Hornhautrefraktion infolge der Myopie gefunden zu haben. Bei einer 14jährigen Patientin, deren Refraktion im Verlaufe von 3 Jahren um 6 D. auf dem einen, um 4 D. auf dem anderen Auge zugenommen hatte, fand Sulzer in dieser Zeit eine Zunahme der Hornhautrefraktion um 2,5 D., so dass die entstandene Kurzsichtigkeit hier teils auf Bulbusverlängerung, teils auf Krümmungsvermehrung zu beziehen war. Von Interesse ist eine Angabe Mauthner's, der bei höchstgradiger Myopie ohne Keratoconus einen kleineren Hornhautradius als jemals bei Emmetropie fand, den auch er nicht als Ursache, sondern als Folge der Achsenverlängerung des Bulbus auffasst.

Francis Valk findet unter 1106 von ihm gemessenen Fällen 620 mit einem Radius von mehr als 7,65 mm, dem von ihm gefundenen Mittel, darunter waren 57 Myopen, das sind 10%. Dagegen waren unter 486 Patienten mit einem kleineren Radius als 7,65 mm 110, das sind 33% Myopen, woraus eine gewisse Beziehung der Hornhautkrümmung zur Refraktion hervorgeht. Otto maß mit dem Javal'schen Instrument 179 Hornhäute von Patienten zwischen 20 und 55 Jahren und fand den Radius bei Hypermetropie etwas größer, bei Myopie um ein weniges kleiner als den Mittelwert desselben in emmetropischen Augen; die Abweichung betrug aber weniger als 0,2 mm, kommt also praktisch nicht in Betracht. Die Donders'sche Angabe, dass den höchsten Graden von Myopie ein großer Hornhautradius entspreche, konnte Otto nicht bestätigen.

Messungen an 22 Patienten mit stärkerer Anisometropie führten Otto zu dem Schlusse, dass ein sicheres Gesetz bezüglich des Verhältnisses der Größe der Hornhautradien zu Refraktionsanomalien sich nicht aufstellen lasse, da der Radius des stärker brechenden Auges einmal größer, das andere Mal kleiner als der des schwächer brechenden Auges gefunden wurde.

Die vorstehende Zusammenstellung über ophthalmometrische Messungen an ca. 3000 Hornhäuten zeigt, dass die Ergebnisse einander zu sehr widersprechen, um allgemeine Regeln über die Beziehungen zwischen Refraktion und Hornhautkrümmung zuzulassen. Zweifellos ist für die große Mehrzahl der zur Beobachtung kommenden Kurzsichtigkeitsformen allein oder in erster Linie die abnorme Achsenlänge als Ursache anzusprechen.

§ 144. Über das Vorkommen von Kurzsichtigkeit durch Erhöhung des Brechungsindex des Kammerwassers sind mehrfach unzutreffende Angaben gemacht worden.

Schapringer erwähnt die u. a. von Green mitgeteilte Beobachtung, dass Iritis in einer ansehnlichen Zahl von Fällen eine vorübergehende Myopie von 1,5—2 Dioptrien hervorrufe und glaubt die Ursache hierfür in einem erhöhten Brechungsindex des Kammerwassers sehen zu können. Moauro hat bei Gelbsüchtigen eine vorübergehende Kurzsichtigkeit von 1,5—2 Dioptrien beobachtet und gleichfalls durch Erhöhung des Kammerwasserindex erklärt, da es ihm bei Hunden gelungen war, nach Unterbindung der Gallengänge eine Indexerhöhung von 1,338 auf 1,356 experimentell zu erzeugen. Appenzeller fand bei einem Zuckerkranken vorübergehend eine Kurzsichtigkeit von 1 Dioptrie, die nur so lange nachweisbar war, als der Urin Zucker enthielt. Sie sollte nach Appenzeller abhängig und verursacht sein von Erhöhung des Brechungsindex des Kammerwassers, während man sonst in der Regel diese Art der Myopie auf Veränderungen in der Linse zu beziehen pflegt (s. u.).

Die von Schapringer und von Moauro ausgeführten Berechnungen geben aber ein unzutreffendes Bild von den thatsächlichen Verhältnissen.

Moauro legt seinen Berechnungen das reduzierte Listing'sche Auge zu Grunde und ermittelt nach der Formel $\frac{1}{f'} + \frac{n}{f''} = \frac{n-1}{r}$ die Veränderung des Brechungsindex, welche nötig ist, um dem reduzierten Auge jene Brennweiten zu geben, die bestimmten Kurzsichtigkeitsgraden entsprechen würden. Er findet so z. B. für einen Index von 1,4 eine Myopie von 10 Dioptrien und meint, dass ähnliche Veränderungen durch gleich große Erhöhung des Kammerwasserindex im schematischen Auge eintraten, was aber nicht zutrifft. Das reduzierte Auge stellt eine zum Zwecke übersichtlicherer Rechnung eingeführte Vereinfachung dar, erhalten durch Substitution

einer einzigen brechenden Fläche und eines einzigen optisch gleichartigen Mediums an Stelle des wirklichen Systems. Eine Veränderung des Gesamtbrechungsindex dieses reduzierten Auges muss ganz andere, und zwar im allgemeinen relativ größere Änderungen der Gesamtbrennweite zur Folge haben, als eine gleich große Änderung des Kammerwasserindex allein in einem wirklichen Auge, dessen übrige Konstanten ihre ursprünglichen Werte beibehalten. Es ist daher nicht angängig, aus den am reduzierten Auge berechneten Werten auf gleiche Refraktionsänderungen im schematischen zu schließen.

Ebenso ist Schapringer's Rechnungsweise nicht zutreffend. Er ermittelt die Werte, welche der hinteren Brennweite des aus Hornhaut und Kammerwasser gebildeten Systems für verschieden große Werte des Kammerwasserindex zukommen und bezeichnet die Brechkraft durch die vor das Auge gesetzten korrigierenden Konkavgläser.

Auch diese Berechnung muss zu hohe Werte für die durch Erhöhung des Kammerwasserindex bedingte Refraktionszunahme des Auges geben, denn sie geht von der irrigen Voraussetzung aus, dass durch Erhöhung des Kammerwasserindex nur das System Hornhaut + Kammerwasser geändert werde, während im übrigen die Brechung in gleicher Weise erfolge, wie im schematischen Auge. Nun wird aber durch die Erhöhung des Kammerwasserindex die Differenz zwischen diesem und dem Linsenindex kleiner, die Brechung durch die Linse also geringer, deren Brennweiten werden größer, als sie im schematischen Auge sind. Auch werden die beiden Brennweiten der Linse ungleich groß, da letztere nicht mehr (wie im schematischen Auge) auf beiden Seiten von einem Medium mit gleichem Brechungsindex umgeben ist. Durch diese Umstände erfahren die Kardinalpunkte des Auges eine Verschiebung, zu deren Bestimmung die Berechnung der Haupt- und Brennpunkte für jedes einzelne der brechenden Systeme, sowie für die aus ihnen gebildeten Kombinationen unerlässlich ist. Die Berechnung geschieht auf bekannte Weise. Sie führt zu dem Ergebnisse, dass Erhöhung des Kammerwasserindex von dem normalen Werte (1,3365) auf 1,377 (d. i. den Brechungsindex der Hornhaut) in einem emmetropischen Auge nur eine Myopie von 1,7 Dioptrien hervorruft und dass Erhöhung des Index auf den Wert 1,42 erst eine Myopie von 5,3 Dioptrien zur Folge haben würde.

Es folgt aus dem Gesagten, dass die oben erwähnten, vorübergehenden Myopieformen wohl sicher nicht, oder doch nur zu einem verschwindend kleinen Teile auf Erhöhung des Kammerwasserindex bezogen werden können. Denn zur Erzeugung einer Kurzsichtigkeit von 1,5 bis 2,0 Dioptrien müsste der Kammerwasserindex gleich dem Hornhautindex, beziehungsweise sogar höher als dieser werden, was in Wirklichkeit wohl nicht vorkommt.

Dass speziell eine Erhöhung des Kammerwasserindex durch vermehrten Zuckergehalt beim Diabetiker keine merkliche Kurzsichtigkeit erzeugen wird und in dem obenerwähnten Falle sicherlich die dort gefundene von 1,0 D. nicht erzeugt hat, geht aus folgender Überlegung hervor: Einer Flüssigkeit von gleichem Brechungsindex wie die Hornhaut würde nach Lohnstein eine 20procentige Traubenzuckerlösung entsprechen. Die Koncentration des Kammerwassers zur Erzeugung einer Myopie von 1,5 D. in einem vorher emmetropischen Auge müsste also nahezu diese Höhe haben. Nun hat aber Deutschmann gezeigt, dass eine menschliche Linse schon in einer 5procentigen Traubenzuckerlösung in wenigen Stunden unter Schrumpfung sich trübt. Ferner bestimmte er bei einem hochgradig diabetischen Mädchen, dessen Urin konstant mehr als 8 % Zucker enthielt, den Zuckergehalt des Kammerwassers zu nur 0,5 %. (Wie langsam der Brechungsindex bei steigender Koncentration z. B. einer Salzlösung wächst, geht aus einer Untersuchung von Börner (1869) hervor, der z. B. für Kochsalzlösungen ermittelte, dass bei einer Koncentration von 10 % bezw. 20 % und 30 % der Index 1,342, bezw. 1,355 und 1,366 betrug. Ähnlich verhielten sich andere von Börner geprüfte Salze.)

Würden diese Zahlen schon zur Widerlegung obiger Ansicht genügen, so muss noch weiter berücksichtigt werden, dass bei Diabetes auch der Glaskörper zuckerhaltig ist und dass dessen Indexerhöhung die Gesamtrefraktion des Auges herabsetzen, den Einfluss der Indexerhöhung des Kammerwassers also mehr oder weniger aufheben muss. Wenn in unserem zweiten obigen Beispiele der Glaskörperindex auf die gleiche Höhe von 1,42, wie der Kammerwasserindex steigt, so wird das Auge dadurch ca. 6 D. hypermetropisch.

Wenn bei einem ikterischen Menschen wirklich eine Erhöhung des Kammerwasserindex um 0,018 vorkäme, wie Moauro sie bei Hunden nach Unterbindung der Gallengänge gefunden hat, so würde daraus immer erst eine Myopie von kaum 3/4 D. sich ergeben, selbst wenn man annehmen wollte, dass der Glaskörperindex durch den Icterus gar nicht beeinflusst würde, was sehr wenig wahrscheinlich ist.

Über Zunahme des Kammerwasserindex bei Iritis liegt bisher nur eine Untersuchung von Bajardi vor, der ihn fast immer um 0,003—0,005 erhöht fand, was die thatsächlich beobachtete Refraktionserhöhung natürlich nicht erklärt. Wiederholte Paracentesen der vorderen Kammer hatten eine Erhöhung des Kammerwasserindex um 0,0085 zur Folge.

§ 145. Kurzsichtigkeit infolge krankhafter Linsenveränderungen kann auftreten einmal durch Erhöhung des Brechungsindex, dann durch Krümmungszunahme der Linse. Bei älteren Leuten zeigen sich nicht selten Veränderungen in der Linse, die meist mit beginnendem Star in Verbindung gebracht werden und funktionell in dem Auftreten einer Myopie (bezw. Verminderung bestehender Hypermetropie) zum Ausdrucke kommen. Den ersten derartigen Fall beschrieb Henry im Jahre 1786: Ein früher normalsichtig gewesener Mann wurde mit 50 Jahren kurzsichtig und musste Konkavgläser für die Ferne benutzen, während er früher ohne solche gut sehen konnte. Mit zunehmendem Alter wurden immer stärkere Konkavgläser nötig.

Der Grad der so erworbenen Refraktionserhöhung kann beträchtlich sein: Rydel berichtet von einer Patientin, die früher in der Ferne gut, in der Nahe

nur mit Konvexgläsern gesehen hatte, und welche im Alter von 72 Jahren eine Myopie von 4,5 D. bekam. LANDESBERG beobachtete bei 7 Patienten eine Refraktionserhöhung von 1,5—10 D., FUCHS bei 11 Kranken eine solche von 1—9 D. HERRNHEISER fand bei einer 80jährigen, früher angenähert emmetropisch gewesenen Patientin (sie hatte im Alter von 60 Jahren + 3,5 D. für die Nähe erhalten) eine Myopie von 7 D. Über ähnliche Fälle berichten WEBER, CRITCHETT, SNELLEN, DE WECKER u. a. MAUTHNER sah in einem Falle diese Kurzsichtigkeit ganz akut in wenigen Stunden auftreten, anscheinend im Anschlusse an eine starke Blendung des Auges. (BURNETT beschreibt solche Fälle als »second sight of old people«.)

Die Erklärung dieser »Linsenmyopie« ist (ZEHENDER und MATTHIESSEN, SCHWEIGGER) in einer Erhöhung des Linsenindex, insbesondere des Kernindex zu suchen. HEINE fand den Totalindex bei einer älteren myopischen Patientin = 1,451 an dem einen, 1,47 an dem anderen Auge, die Bulbusachse war nicht verlängert.

Ferner tritt auch bei Diabetes anscheinend infolge von Veränderungen in der Linse Myopie auf, wie zuerst HIRSCHBERG nachgewiesen hat. Eine Trübung der Linse muss dabei nicht notwendig vorhanden sein. HIRSCHBERG bezeichnet als »besonders verdächtig« und daher diagnostisch wichtig diejenige Myopie, die »im höheren Alter, um die 50er Jahre, plötzlich und ohne Linsentrübung sich entwickelt«. Der Grad der Kurzsichtigkeit kann auch hier mehrere Dioptrien betragen. In den letzten Jahren sind hierher gehörige Fälle von GRIMSDALE, DOYNE, ROOSA u. a. beschrieben worden. RISLEY sah (1897) zwei Fälle, wo bei diabetischen Kranken während zuckerfreier Perioden stärkere Konvexgläser nötig waren, als in der Zeit, wo der Urin Zucker enthielt. Die Differenz betrug 1—3 Dioptrien.

Während in den meisten Fällen die bei Diabetes beobachtete Änderung eine Zunahme der Refraktion darstellt, sah LANDOLT (1884) bei einer emmetropischen Diabetischen, so oft der Urin Zucker zeigte, leichte Hypermetropie auftreten, die mit Schwinden des Zuckers wieder zurückging und von LANDOLT auf Brechungserhöhung des Glaskörpers bezogen wurde. Einen ähnlichen Fall beschrieb SOURDILLE und bezog die während des Zuckergehaltes eingetretene Hypermetropie von 2 Dioptrien auf Weicherwerden und Schrumpfen des Auges.

Über Myopie durch gleichmäßige Vermehrung der Linsenwölbung sind unsere Kenntnisse noch sehr lückenhaft. Die Möglichkeit, dass die eben besprochene Kurzsichtigkeit bei beginnendem senilem und diabetischem Star in manchen Fällen zu einem mehr oder weniger großen Teile auf Vermehrung der Linsenwölbung (infolge von Wasseraufnahme in den Kapselsack) beruhe, ist nicht ausgeschlossen; doch fehlen noch diesbezügliche Messungen. Dass von der typischen Kurzsichtigkeit jedenfalls nur ein verschwindend kleiner Bruchteil auf diese Ursache zurückzuführen ist, geht aus allen einschlägigen Beobachtungen mit Sicherheit hervor.

v. Reuss findet in kurzsichtigen Augen den Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche in der Regel viel größer, als bei Emmetropischen, im allgemeinen gelte dies auch von der hinteren Fläche der Linse. Entsprechend sei fast ausnahmslos die Brennweite der Linse Kurzsichtiger größer, ihre Dicke in der Regel geringer, als bei Emmetropischen.

Vereinzelt hatten schon Helmholtz und Knapp einschlägige Beobachtungen verzeichnet und auch Coccius giebt an, »dass die Kurzsichtigen fast immer die größten vorderen Linsenbilder im Zustande der Ruhe besitzen«. Es möge darauf hingewiesen werden, dass die Myopischen im allgemeinen weitere Pupillen haben, als die Emmetropischen, dass daher am Zustandekommen des vorderen Linsenbildes bei ihnen leicht etwas mehr peripher gelegene Teile der Linsenvorderfläche beteiligt sein können. Diese haben aber bekanntlich oft etwas geringere Wölbung, als die centralen, und es ist denkbar, dass die v. Reussschen Ergebnisse zum Teile auf diesen Umstand zurückzuführen sind. Immerhin ist der von ihm gefundene Unterschied sehr groß, denn die Mittelzahl aus seinen Messungen beträgt für den Radius der Linsenvorderfläche in kurzsichtigen Augen 12,69 mm.

Eine mehr ungleichmäßige Wölbungszunahme der vorderen oder hinteren Linsenfläche finden wir bei dem sogenannten »echten Lenticonus«. Fälle von Lenticonus anterior sind von Webster, Placido und van der Laan u. a. beschrieben worden; es handelte sich dabei um kegelförmige Vorbuchtung des im Pupillargebiete sichtbaren Teiles der Linsenvorderfläche.

Bei Lenticonus posterior zeigt die Umgebung der hinteren Polgegend eine mehr oder weniger starke Ausbuchtung nach rückwärts, mit entsprechender Krümmungszunahme. Der erste derartige Fall wurde von F. Meyer (1888) beschrieben; spätere Mitteilung haben Knapp, Eiseck, Mitvalsky, Pergens, Müller, Elschnig, Rogman, Hess u. a. gemacht. Nach meinen anatomischen Untersuchungen ist ein Teil derselben auf fötale Rupturen der hinteren Linsenkapsel zurückzuführen.

Im allgemeinen muss durch den Lenticonus Myopie hervorgerufen werden (in einigen Fällen ist eine solche bis zu 34 Dioptrien beschrieben), die aber meist einer Korrektion durch sphärische Gläser nur in geringem Grade zugänglich sein wird; denn erstens ist die sphärische Aberration sehr beträchtlich, zweitens bestehen oft Trübungen der Linse und drittens kann infolge der (von mir anatomisch nachgewiesenen) starken Verwerfung der Linsenschichten irregulärer Astigmatismus auftreten. Bei erweiterter Pupille kann man skiaskopisch oft in den peripheren Linsenteilen emmetropische oder leicht myopische Refraktion nachweisen, während die centralen einen beträchtlich höheren Brechzustand zeigen.

Ähnliche ophthalmoskopische Erscheinungen können, wie u. a. L. Müller, Gutmann, Demicheri hervorgehoben hat, durch abnorme Gestaltung des Linsenkernes bei normaler Linsenform hervorgerufen werden; Müller hat für diese Anomalie die Bezeichnung »Linsen mit doppeltem Brennpunkt«, Demicheri den Namen »falscher Lenticonus« vorgeschlagen. In

einem von ihm beobachteten Falle hatten die mittleren Linsenteile eine um 2,5 Dioptrien schwächere Brechkraft als die peripheren; meist sind aber die centralen Teile stärker brechend. GUTTMANN hat eine Differenz von 7 Dioptrien zwischen der Refraktion der peripheren und jener der centralen Teile beobachtet.

Kurzsichtigkeit infolge pathologischer Entspannung der Zonula kommt am häufigsten bei Subluxation und bei Ektopie der Linse vor. Der Grad der Myopie wird ceteris paribus um so größer sein, je jünger der Kranke ist, da die Linse sich hier bei entspannter Zonula viel stärker wölbt, als bei älteren Leuten. Bei einem von mir untersuchten 7jährigen Jungen mit angeborener Ektopie der Linse ging der untere Linsenrand etwa durch die Mitte des Pupillargebietes. Skiaskopisch ließ sich im aphakischen Pupillenteile eine Hypermetropie von ca. 10 Dioptrien, in linsenhaltigen eine Myopie von über 15 Dioptrien feststellen. Für den Grad der durch solche Verschiebungen entstehenden Kurzsichtigkeit wird außer dem Alter noch in Betracht kommen, welcher Teil der Linse in das Pupillargebiet zu liegen kommt: Die Myopie wird größer sein, wenn die Umgebung der Linsenpole hier gelegen ist, als wenn sehr periphere, in der Regel etwas weniger stark gewölbte Linsenteile hinter der Pupille liegen. Auch der Ort der Linse kommt in Betracht. Die Kurzsichtigkeit muss um so stärker sein, je mehr hornhautwärts die Linse liegt, also unter sonst gleichen Verhältnissen am größten bei Luxation in die vordere Kammer. Selbstverständlich können hierbei wieder durch Anlagerung der Linse an die hintere Hornhautwand schwer zu übersehende Komplikationen eintreten.

Möglicherweise gehört auch die vielfach nach perforierenden Verletzungen mit Hypotonie des Auges beobachtete Kurzsichtigkeit hierher, insofern diese Hypotonie die Ursache einer Entspannung der Zonula sein kann. Doch wird von verschiedenen Seiten in solchen Fällen ein durch den Reiz der Verletzung angeblich hervorgerufener Ciliarmuskelkrampf angeschuldigt (NAGEL, SCHMIDT-RIMPLER). Akute, spontan entstandene Myopie, bezw. Steigerung einer vorhandenen, ohne Luxation der Linse, anscheinend infolge gleichmäßiger hochgradiger Erschlaffung der Zonula hat u. a. SCHROTER beschrieben. Ich selbst sah einen Kranken, bei dem infolge einer plötzlich aufgetretenen heftigen Iridocyclitis an einem vorher emmetropischen Auge Myopie von 5 D. nachgewiesen wurde, die mit dem Abklingen der Entzündung allmählich zurückging.

Ob Kurzsichtigkeit durch Verkleinerung des Brechungsindex des Glaskörpers vorkommt, ist nicht bekannt.

Die Störungen bei Kurzsichtigkeit, welche auf die gemeinsame Thätigkeit beider Augen zurückzuführen sind, insbesondere auch die durch den Zusammenhang zwischen Convergenz und Akkommodation bedingten, werden in dem Abschnitte XII über das Sehen mit zwei Augen besprochen.

Litteratur.

1611. Kepler, Dioptrice, seu demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspicilla non ita pridem inventa accidunt. Augsburg.

1632. Plempius, Ophthalmographia.

1708. Boerhave, De morbis oculorum praelectiones publicae ex codicibus auditorum editae. Göttingen. (Übers. v. Haller 1746.)

1717. Woolhouse, Dissertations savantes et critiques sur la cataracte.

1755. Higgs, J., A practical essay on the cure of venereal, scorbutic, arthritic lesions, scrofulous and cancerous disorders, in a method entirely new.

1761. Morgagni, De sedibus et causis morborum per anatomen indigatis. Venetiis liber I.

1769. Guérin, Traité sur les maladies des yeux. Lyon.

1786. Thomas Henry, Krankengeschichte eines Mannes, der im Alter kurzsichtig wurde. Auserlesene Abhandl. a. d. Schriften d. litterarisch-philos. Ges. zu Manchester. (Übers. v. Schwenger.) S. 41.

1790. Richter, Anfangsgründe der Wundarzneikunst. III.

1807. Scarpa, Traité prat. des maladies des yeux. Paris. II. S. 190.

1812. Ware, Observations relative to near and distant sight of different persons. Read before the Royal Society.

1842. Rittrich, Schmidt's Jahrb. XXXVI. S. 138.

1854. Arlt, Bericht über die Sitzung des Prager Doktorenkollegiums in Dr. Altschul's Monatsschrift. Juniheft.

v. Graefe, Zwei Sektionsbefunde von Sclerotico-Chorioiditis posterior und Bemerkungen über diese Krankheit. Arch. f. Ophth. I, 2.

1856. Arlt, Krankheiten des Auges. III. S. 238.

1861. Jäger, Über die Einstellung des dioptrischen Apparates.

1862. Förster, Ophthalmologische Beiträge.

1863. Passavant, Über Schulunterricht vom ärztlichen Standpunkte. Frankfurt a. M.

Schweigger, Zur pathologischen Anatomie der Chorioidea. Arch. f. Ophth. IX, 1.

1866. Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation.

1868. Dobrowolsky, Hyperästhesie des Ciliarmuskels. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.

1869. Iwanoff, Beiträge zur Anatomie des Ciliarmuskels. Arch. f. Ophth. XV, 3. S. 284.

1871. Erismann, Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Myopie, gestützt auf die Untersuchung von 4358 Schülern und Schülerinnen. Arch. f. Ophth. XVII, 1. S. 1.

Mannhardt, Muskuläre Asthenopie und Myopie. Arch. f. Ophth. XXVII, 2. S. 69.

1872. Landolt, E., La distanza diretta tra la macula lutea e la papilla del nervo ottico. Ann. di Ottalm. II. S. 65.

1873. Burow sen., Neue Beobachtungen über die Wirkung des Calabar bei Akkommodationslähmungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 78.

v. Hasner, Über die Größenwerte des Auges. Prager Vierteljahrsschr. No. 73.

Critchett, Einige Winke bei der Behandlung noch nicht operationsreifer Stare. Bericht d. Heidelberger Vers. S. 461.

1874. Dor, Schule und Kurzsichtigkeit. Rektoratsrede. Bern.

v. Hasner, Vierteljahrsschrift für praktische Heilkunde. Prag. I. S. 50.

Conrad, M., Die Refraktion von 3036 Augen von Schulkindern mit Rücksicht auf den Übergang von Hyperopie in Myopie. Inaug.-Diss. Königsberg.

Schnabel, Zur Lehre von den Ursachen der Kurzsichtigkeit.

1875. Stilling, Über typischen Akkommodationskrampf. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIII. S. 5.

1875. Lehmus, Die Erkrankungen der Macula lutea bei progressiver Myopie. Inaug.-Diss. Zürich.

1876. Weiss, L., Beiträge zur Entwicklung der Myopie. Arch. f. Ophth. XXII, 3. S. 1.

Arlt, Über die Ursachen und die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Wien, Braumüller.

Loring, Are progressive myopia and conus due to hereditary predisposition or can they be induced by defect of refraction acting through the influence of the ciliary muscle? Transact. intern. med. Congress. Philadelphia.

Schnabel, Über die angeborene Disposition zum erworbenen Staphyloma posticum Scarpae. Wiener med. Wochenschr.

Berlin, Über traumatische Myopie. Beilage z. Tagebl. d. 49. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte. S. 138.

Pflüger, Untersuchung der Augen der Luzerner Schuljugend. Arch. f. Ophth. XXII, 4. S. 63.

Koppe, Ophthalmoskopisch-ophthalmiatrische Untersuchungen. Inaug.-Diss.

1877. Colsman, Die überhandnehmende Kurzsichtigkeit unter der deutschen Jugend, deren Behandlung, Ursachen und Verhütung. Barmen. 54 S.

Vance, R. A., The development of myopia among the school children of America. Detroit med. Journ. S. 561.

Cohn, Die Augen der Uhrmacher, Goldarbeiter, Juweliere und Lithographen. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April.

Javal, Sur le mécanisme de la myopie progressive. Internat. Kongr. zu Genf u. Ann. d'Ocul. LXXVIII. S. 164.

Loring, Is the human eye changing its form and becoming nearsighted under the influence of modern education. Med. Soc. of de county of New York. November.

Haltenhoff, Ätiologie und Prophylaxe der Myopie. Internat. med. Kongr. zu Genf. Gaz. Hébd. No. 39 u. Ann. d'Ocul. LXXVIII. S. 106 u. 152.

Landolt, Bemerkungen zu dem Artikel: »Beiträge zur Entwicklung der Myopie von Weiss«. Arch. f. Ophth. XXIII, 1. S. 263.

Cuignet, Myopie fonctionelle rapide et très prononcée. Rec. d'Ophth. S. 65.

v. Reuss, Untersuchungen über den Einfluss des Lebensalters auf die Krümmung der Hornhaut. Arch. f. Ophth. XXVII, 1.

1878. Horstmann, Über Myopie. Deutsche med. Wochenschr. No. 17.

Titeca, Sur la pathogénie et la prophylaxie de la myopie. Rapport de M. Bribosia.) Bull. de l'Acad. Roy. de Méd. de Belgique. XII, 4. S. 306.

Titeca, Kurzsichtigkeit unter den Schülern in Hessen. Deutsche Zeitschr. f. prakt. Med. No. 13.

Burchardt, Über die Verhütung der Kurzsichtigkeit. Deutsche med. Wochenschr. No. 1.

Seggel, Die Zunahme der Kurzsichtigkeit in den höheren Unterrichtsanstalten. Bayrisches ärztl. Intelligenzbl. S. 33.

Ott, Über die Beziehung der Schule zur Entstehung der Myopie. Schweizer Korrespondenzbl. VIII. No. 15 u. 16.

Schön, Die Überbürdung des Auges und die Zunahme der Kurzsichtigkeit. Deutsche Zeitschr. f. prakt. Med. No. 21.

1879. Landolt, On myopia. Ophth. Hosp. Rep. IX, 3. S. 345.

Landolt, Chorioiditis with staphyloma posticum and myopia. West Lancet.

Hunt, Nouvelle théorie de la myopie. Boston Med. Journ.

Horstmann, Beiträge zur Myopiefrage. Char.-Ann. V. S. 408.

Cottenot, Du staphylome postérieur. Thèse de Paris.

Becker, O., Ein Fall von Cornealmyopie. Bericht d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 236.

Javal, La myopie et les livres scolaires. Ann. d'Ocul. LXXXII. S. 247.

1880. Emmert, Auge und Schädel. Bern.
v. Zehender, Über den Einfluss des Schulunterrichts auf die Entstehung von Kurzsichtigkeit. Vortrag.
Priestley Smith, Short sight in relation to education. An adress delivered to the Birmingham teachers association. 2. Nov. Birmingham and Leicester.
van Moll, Over den invloed van de school op de kortzichtigheid. Rotterdam.
Risley, A contribution to the clinical history of myopia. Amer. Journ. of the Med. Sc. S. 442.
Chisolm, Myopia in its various phases. Richmond. (Repr. from. Virginia. M. Month.)
Javal, La myopie progressive dans ses rapports avec la longueur des lignes d'impression. Ann. d'Ocul. LXXXIV. S. 60.
Javal, Les livres scolaires et la myopie. Acad. de Méd. 23. Mars.
Dujardin, A., Myopie soudaine, au début d'une irido-choroïdite séreuse. Journ. des Sc. Méd. de Lille. II. S. 63.
Schmidt-Rimpler, Über Chorioidealcolobome mit Berücksichtigung ihrer Beziehung zur Myopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVI, 2. S. 221.
Abadie, Ch., De la ténotomie partielle des muscles de l'oeil. Ann. d'Ocul. LXXXIII. S. 238.
Abadie, Ch., Ténotomie partielle des muscles de l'oeil et myopie progressive. Ann. d'Ocul. LXXXIV. S. 64.
Derby, H., Near sight in the young. Boston Med. and Surg. Journ. CII. S. 620.
Derby, H., On the prevention of nearsight in the young. Boston Med. and Surg. Journ. CII. S. 533.
1881. Rothholz, Zur Ätiologie des Staphyloma posticum sclerae. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVII, 2. S. 25.
Sigismund, R., Untersuchungen über Myopie und Hypermetropie. Berliner klin. Wochenschr. No. 18.
Calderon, A., Consideraciones sobre la miopia. Rev. esp. de oftal. sif. etc. Madrid. I. S. 210 u. 288.
Schiess, Traumatische Myopie, langsame spontane Restitution. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 384.
Horner, F., Über kongenitale Myopie. (Vortrag. Rev. méd. de la Suisse romande. No. 1.
Kuhnt, Welche Gesichtspunkte müssen bei Verordnung von Brillen für Kurzsichtige beobachtet werden? Korrespondenzbl. d. allgem. ärztl. Ver. in Thüringen. 10. Jahrg. No. 1.
1882. Bertin-Sans, E., Le problème de la myopie scolaire. Ann. d'Hyg. Paris. VII. S. 46 u. 186.
Gorecki, La myopie. Le Praticien. 1881.
Katz, Die Kurzsichtigkeit nach Ursache, Wesen und Gefahren, mit besonderer Rücksicht auf Auge und Schule, allgemein verständlich dargestellt. Berlin. 50 S.
Albrecht, J., Statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 342.
Schleich, Klinisch-kasuistische Beiträge zur Lehre von der Myopie. Nagel's Mitt. a. d. ophth. Klinik in Tübingen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 1.
Paulsen, Über die Entstehung des Staphyloma posticum chorioideae. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXVIII, 1. S. 225.
Kuhnt, Über anatomische Veränderungen in kurzsichtigen Augen. Berliner klin. Wochenschr. S. 567.
Carl Theodor, Herzog, Über einige anatomische Befunde bei der Myopie. Mitt. a. d. Münchener Augenklinik. S. 233.
Weiss, L., Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. Nagel's Mitt. 3. Heft.

1882. Leber, Über die Entstehung der Netzhautablösung. Bericht d. 14. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 18.

Wicherkiewicz, Hochgradige Myopie behandelt durch Discission der Linse. 4. Jahresbericht d. Augenheilanstalt Posen. S. 44.

Mittendorf, W. F., Myopia and the necessity of correcting it by glasses. Philadelphia M. Times. XIII. S. 60.

Amadei, Sulla craniologia delle anomalie di refrazione dell' occhio. Ann. di Ottalm. XI. S. 1.

1883. Baas, Die Überhandnahme der Myopie. Med.-chirurg. Centralbl. No. 3.

Bono, Indice cefalico e refrazione oculare. Giorn. della R. Accad. di Med. di Torino. XLVI.

Reich, M., Refraktionsveränderungen im Laufe von sechs Jahren an 85 Schülern beobachtet. v. Graefe's Arch f. Ophth. XXIX, 2. S. 303.

Steffan, Ph., Zur Schulkurzsichtigkeitsfrage. Deutsche Vierteljahrsschr. f. öffentliche Gesundheitspflege.

Paulsen, O., Die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit. Berlin. 41 S.

Chasanow, S., Über die Progression der Myopie. Inaug.-Diss. Königsberg.

Schiötz, Om miopi. Norsk. Magaz. f. Lagevid. XIII. S. 304.

Tscherning, M., Studien über die Ätiologie der Myopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIX. 1. S. 201.

Förster, Über die Entstehungsweise der Myopie. Bericht d. 15. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 119.

Hunt, D., On the causation of myopia. New York med. Journ. No. 10.

Hinrichsen, Akkommodationskrampf bei Myopie. Inaug.-Diss. Kiel.

1884. Kennedy, S. D., Myopia. New Orleans med. Surg. Journ. IV. S. 1.

Bertrand, Expériences sur la myopie et la pupille artificielle. Ann. d'Ocul. XCI. S. 32.

Beselin, Untersuchungen über Refraktion und Grundlinie der Augen. Arch. f. Augenheilk. XIV.

Eperon, De la détermination à l'image droite des degrés élevés de myopie. Arch. d'Opth. S. 217.

Landolt, Etat actuel de la myopie. Arch. d'Opht. S. 1.

Fuchs, Zur Entstehung der Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 14.

Landesberg, M., Über das Auftreten von Myopie während der senilen Starbildung. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April-Mai. S. 101.

Weiss, L., Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. III. Zur Anatomie des myopischen Auges mittleren Grades (Verletzung durch Pulverexplosion). IV. Zur Anatomie des hochgradig myopischen Auges (Erblindung durch Drucksteigerung). Mitt. aus der ophth. Klinik in Tübingen. II, 1. S. 69.

Dransart, 1. Traitement du décollement de la rétine et de la myopie progressive par l'iridectomie, la sclérotomie et la pilocarpine. 2. Rapports cliniques et pathogéniques entre le décollement de la rétine, la myopie et le glaucome. Ann. d'Ocul. XCII. S. 30.

Förster, Über den Einfluss der Konkavgläser und der Achsenconvergenz auf die Weiterentwicklung der Myopie. Arch. f. Augenheilk. XIV. S. 295.

v. Hippel, A., Welche Maßregeln erfordert das häufige Vorkommen der Kurzsichtigkeit in den höheren Schulen. Akad. Festrede, Gießen.

Seggel, Über normale Sehschärfe und die Beziehungen der Sehschärfe zur Refraktion. Arch. f. Ophth. XXX, 2. S. 69.

1885. v. Reuss, Über den Einfluss der Schule auf das Entstehen und Wachsen der Kurzsichtigkeit. Separatausgabe a. d. österr. ärztl. Vereinszeitung.

v. Reuss, Die modernen schulhygienischen Maßregeln gegen die Kurzsichtigkeit. Vortrag gehalten im Verein z. Verbreitung naturwissenschaftl. Kenntnisse in Wien am 17. Dez. 1884.

Stilling, Eine Studie zur Kurzsichtigkeitsfrage. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 133.

1885. Dobrowolsky, W., Zur Frage über die Entstehungsweise der Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 157.

Nagel, Wie ist die Entwicklung der Kurzsichtigkeit zu verhüten? Besondere Beilage des Staatsanzeigers f. Württemberg. No. 6. Stuttgart.

Schmidt-Rimpler, Zur Frage der Schulmyopie. Bericht über d. 16. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 146 u. Arch. f. Ophth. XXXI, 4. S. 115.

Ulrich, Untersuchungen über den Zusammenhang von Convergenz und erworbener Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 433.

Seely, Weiteres über die Entstehungsweise der Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 278.

Hadie, Des complications de la myopie progressive. Arch. d'Opht. V. S. 178. (Soc. Franç. d'Opht.)

Dransart, H., Guèrison de la myopie progressive par l'iridectomie et la sclérotomie. Théorie circulatoire de la myopie. Ann. d'Ocul. XCIV. S. 109.

Bjelloff, Inaug.-Diss. Ref. im Centralbl. f. Augenheilk. S. 479.

Weiss, L., Über den an der Innenseite der Papille sichtbaren Reflexbogenstreif und seine Beziehung zur beginnenden Kurzsichtigkeit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXI, 3. S. 239.

Weiss, L., Über die ersten Veränderungen des kurzsichtigen bezw. kurzsichtig werdenden Auges. Bericht über d. 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 138.

Weiss, L., Über Länge und Krümmung des Orbitalstückes des Sehnerven und deren Einfluss auf die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Tageblatt d. 58. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte in Straßburg i. E. S. 498.

Harlan, G., Rapidly progressive myopia, permanently checked by division of the external rectus. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Transact. first meet. S. 24 u. Amer. Journ. of Ophth. II. S. 147.

Galezowsky, De la myopie acquise, qui précède quelquefois la formation de la cataracte corticale. Ann. d'Ocul. XCIII. S. 287.

Eversbusch, O., Eine neue Form von Missbildung der Papilla nervi optici, verbunden mit ausgedehnter Verbreitung markhaltiger Sehnervenfasern und kongenitaler hochgradiger Kurzsichtigkeit. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 1.

Nuël, P. G., Colobome temporal de la papille du nerf optique. Contribution à l'étude de la myopie héréditaire. Ann. d'Ocul. XCIII. S. 174.

Förster, Über den Einfluss der Konkavgläser und Achsenconvergenz auf die Weiterentwicklung der Myopie. Arch. f. Augenheilk. XIV.

Weissbach, Über hochgradige Myopie der Landbevölkerung. Inaug.-Diss. Freiburg.

1886. Adamück, E., Zur Frage über die Myopie in den Schulen. Ophth. Bote. III. S. 269–321 u. 429–449. (K woprosu o miopii w schkolach. ophth.)

Ausderau, Die seitliche Lage der Schreibhefte in den Schulen, eine der wichtigsten Ursachen von Scoliose und Myopie. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. No. 3, 4 u. 5.

Deeren, Etiologie et prophylaxie de la myopie axile chez les écoliers. Rec. d'Ophth. S. 449.

Förster, Über Behandlung der Myopie. Vortrag, gehalten in der 17. ordentlichen Generalvers. d. Ver. d. Ärzte des Regierungsbezirks Breslau am 13. Dez. 1885. Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 4.

Förster, On the influence of concave glasses and convergence of the ocular axes in the disease of myopia. Arch. d'Ophth. XV. S. 499.

Helm, G. F., Short sight, long sight and astigmatism. London, Churchill.

Hofmann, Gustav, Ein Erklärungsversuch für die scheinbare Kurzsichtigkeit. Allgem. Wiener med. Zeitung. No. 34.

1886. **Kelsch, A.**, The cause of regular astigmatism. Med. Rec. 17. July.

Knies, M., Über Wesen und Therapie der Myopie. Bericht d. 18. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 26.

Knies, Über Myopie und ihre Behandlung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 3. S. 15.

Leininberg, N., Klinisch-statistische Beiträge zur Myopie. Inaug.-Diss. Würzburg.

Nettleship, Myopia from childhood, rapid increase soon after marriage, to almost total blindness; question of myopic chorioiditis. Opht. Hosp. Rep. XI. S. 73.

Norris, W. F., Some remarks on asthenopia and the changes in refraction in adolescent and adult eyes. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-second meet. New London. S. 369; Ophth. Rev. S. 265 u. Amer. Journ. of Ophth. S. 302.

Priestley Smith, On means for the prevention of myopia. Ophth. Rev. S. 153.

v. Reuss, Abnorm kurzer Krümmungsradius der Hornhaut. Wiener med. Presse. S. 34.

Schiess, Über Schule und Kurzsichtigkeit. Separatausgabe a. d. Allgem. Schweizer Zeitung.

Schmidt-Rimpler, Noch einmal die Myopie am Frankfurter Gymnasium. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 2. S. 301.

Schneller, Über die Entstehung und Entwicklung der Kurzsichtigkeit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 3. S. 245.

Steffan, Die Myopie am Frankfurter Gymnasium. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII, 1. S. 267.

Stilling, Über Entstehung der Myopie. Bericht d. 18. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 14.

Szili, A., Szerzett rövidlátóság rendkivüli esetei. Seltene Fälle von erworbener Myopie.) Szemészet. S. 25.

Treichler, A., Die Verhütung der Kurzsichtigkeit durch die Reform der Schulen. Staefa.

Weiss, Über den Einfluss der Spannung der Augenlider auf die Krümmung der Hornhaut und damit auf die Refraktion des Auges. Bericht d. 18. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 72.

Wherry, Myopia caused by an orbital growth. Brit. Med. Journ. I. S. 136.

1887. Adler, H., Die durch Überbürdung hervorgerufenen Augenerkrankungen der Mittelschüler. Wiener med. Presse. No. 34 u. Mitt. d. Wiener med. Dokt.-Coll. XIII. S. 167 u. 175.

Baas, Über Starmyopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 453.

Cohn, Die ärztliche Überwachung der Schulen zur Verhütung der Verbreitung der Kurzsichtigkeit. Referat, erstattet d. 6. internat. hyg. Kongr. zu Wien.

Ferri, Contribuzione allo studio della genesi della miopia. Ann. di Ottalm. XVI. S. 503.

Galezowski, Etiologie et thérapeutique de la myopie. Congr. d'Opht. de Paris. Ann. d'Ocul. XCVII. S. 265.

Green, J., Transient myopia after iritis. Amer. Ophth. Soc. 23. Meet. Transact. of the Amer. Ophth. Soc.

Hirschberg, Über Sehstörungen durch Zuckerharnruhr. Deutsche med. Wochenschr. No. 17—19.

Javal, Sur la myopie scolaire. Bull. Acad. de Méd. Paris. 2. Série. XVIII. S. 443.

Julea, A., Az eskolai rövidlátás kérdéséhez. Zur Frage der Schulmyopie.) Szemeszet. S. 48 u. 68.

Mannhardt, J., Senile Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 217 u. 450

1887. Petersen, Matth., Über Hornhautflecke als Ursache der Myopie und Anisometropie. Kiel, Lipsius & Tischer. 26 S.

Pfalz, Sphinkterrisse und Myopie infolge eines Steinwurfes. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 233.

Pflüger, E., La myopie scolaire. Paris, Baillière et fils u. Ann. d'Hyg. 3. Série. XVIII. S. 113.

Pflüger, E., Kurzsichtigkeit und Erziehung. Akad. Festrede. Wiesbaden, J. F. Bergmann. 39 S.

Querenghi, F., Microftalmo congenito con stafiloma posteriore progressivo. Ann. di Ottalm. XVI. S. 190.

Querenghi, F., Alcune considerazioni intorno alla eziologia e patogenesi della miopia. Ann. di Ottalm. XVI. S. 27.

Risley, L. D., Change of form in the eyeball, with increased refraction. Amer. Ophth. Soc. 23. Meet. Ophth. Rev. S. 276.

Risley, L. D., Hypermetropic refraction passing while under observation into myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 520.

Stilling, J., Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Wiesbaden, J. F. Bergmann.

Pflüger, Stilling's Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit, kritisch beleuchtet. Zeitschr. f. Schulgesundheitspflege. I. S. 135.

Straub, M., Über die Dehnung des hinteren Bulbusteiles bei Myopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIII, 3. S. 84.

Straumann, Über ophthalmoskopische Befunde und Hereditätsverhältnisse bei der Myopie. Inaug.-Diss. Basel.

van den Bergh, Du développement de la myopie considérée au point de vue du surmenage scolaire. Clinique. Bruxelles. I. S. 163.

Verdese, A., Genesi della miopia. Assoc. Ottalm. Ital. Ann. di Ottalm. XV, 5 u. 6. S. 507.

Veszely, K. K., Zur Genese der Myopie. Wiener med. Wochenschr. XXXVII. S. 1119, 1150 u. 1173.

1888. Barrett, J. W., The production of myopia in an adult by excessive literary work. Austral. med. Journ. Melbourne. N. S. X. S. 161.

Bruns, H., A high degree of myopia occurring in an unlettered mulatto field hand. New Orleans med. and Surg. Journ. XVI. S. 111.

Chauvel, J., De la myopie; ses rapports avec l'astigmatisme; étude statistique et clinique. Arch. d'Opht. VIII. S. 193.

Chauvel, J., La myopie et ses rapports avec l'astigmatisme. Soc. d'Opht. de Paris. Ann. d'Ocul. C. S. 160.

Cohen, O., Über die Gestalt der Orbita bei Kurzsichtigkeit. Arch. f. Augenheilk. XIX. S. 41.

Mittendorf, W. F., Symptomatic myopia. Amer. Journ. of Ophth. S. 203.

Ruiz et König, Pathogénie et traitement de la myopie progressive. Rec. d'Opht. S. 224.

Schneller, Über die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit. Sitzung d. naturf. Ges. zu Danzig am 15. Febr. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April. S. 109.

Schneller, Über Veränderungen der Form des Auges bei Convergenz der Sehachsen und gesenkter Blickebene. Bericht d. 7. internat. Ophthalmologenkongr. zu Heidelberg. S. [illegible].

Seggel, C., Über die Prüfung des Licht- und quantitativen Farbensinnes und ihre Verwertung für die Untersuchung des Sehvermögens der Rekruten, nebst Bemerkungen über die nachteilige Einwirkung des myopischen Prozesses auf das Sehvermögen. Arch. f. Augenheilk. XVIII. S. 303.

Seggel, Zur Kurzsichtigkeitsfrage. Münchener med. Wochenschr. No. 5 und 26.

1888. Stilling, J., Über Schädelbau und Refraktion. Bericht d. 7. internat. Ophthalmologenkongr. zu Heidelberg. S. 97.
Stilling, J., Schädelbau und Kurzsichtigkeit. Eine anthropologische Untersuchung. Wiesbaden, J. F. Bergmann. 124 S.
Stoeber, A., De la myopie scolaire. Rev. Méd. de l'Est. Nancy. XX. S. 205.
Szili, A., A rövidlátóság kérdéséhez. (Über Myopie.) Gyógyászat. Budapest. XXVIII. S. 255.
Weiss, L., Zur Beziehung der Form des Orbitaeinganges zur Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 349.
Weiss, Beiträge zur Anatomie der Orbita. I. Über Länge und Krümmung der Sehnerven und deren Beziehung zu den Veränderungen an der Papille. Tübingen.
1889. Keferstein, Über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Berliner klin. Wochenschr. No. 24.
Schön, Eine neue Verzerrungserscheinung am kurzsichtigen Auge. Bericht über d. 20. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 85.
Stilling, J., Über Orbitalmessungen bei verschiedener Refraktion. S. 444.
Weinbuch, J., Über hochgradige Myopie bei der Landbevölkerung. Laupheim.
Baer, Über das Verhalten des Orbitaindex bei den verschiedenen Refraktionszuständen vom 10. bis 19. Lebensjahre. Inaug.-Diss. München.
Fano, Note sur l'impossibilité pour certains myopes de trouver des verres négatifs, qui leur permettent de voir les objets éloignés. Journ. d'Ocul. et de Chir. S. 90.
Issigonis, Über Myopie in den Schulen von Smyrna. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. April. S. 117.
Kirchner, Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Zeitschrift f. Hygiene. VII, 3. S. 397.
Lawrentjew, A., Über die Kurzsichtigkeit im Schulalter. (O blisorukosti w schkolnom wosraste.) Tagebl. d. 3. Kongr. d. russ. Ärzte. S. 89 u. 156.
Martin, E., Etiologie de la myopie. Echo Méd. Toulouse.
Motais, De l'hérédité de la myopie. Arch. d'Opht. VIII. S. 321 u. Bull. Méd. 12. Juin.
Randall, Alex., The curvilinear reflection of Weiss as a prodromal sign of myopia. Med. News. LIV. 6. S. 152.
Randall, Alex., Über den nasalen Reflexbogenstreif von Dr. L. Weiss. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 178.
Richey, S. O., A contribution to the management of initial myopia acquisita. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-fifth annual meet. New London. S. 306.
Rotulo, De la Myopie. Thèse de Paris.
Romano Catania, Contributo anatomico allo studio della miopia. Sicilia med. S. 593.
Schmidt-Rimpler, H., Zur Frage der Schulmyopie. 2. Teil. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXV, 4. S. 249.
Schmidt-Rimpler, H., Kurzsichtigkeit und ihre Beziehung zum Bau der Augenhöhle. Sitzungsber. d. Ges. z. Förderung d. ges. Naturwissensch. zu Marburg. No. 1.
Schmidt-Rimpler, H., Kurzsichtigkeit und Augenhöhlenbau. v. Graefe's Arch. f. Ophth. S. 200.
Schmidt-Rimpler, H., Bemerkungen zu Stilling's Aufsatz: Über Orbitalmessungen bei verschiedenen Refraktionen. Fortschr. d. Med. S. 573.
Schmidt-Rimpler, H., Noch einmal die Orbitalmessungen bei verschiedenen Refraktionen. Fortschr. d. Med. S. 769.
Schmidt-Rimpler, H., Die Schulkurzsichtigkeit und ihre Bekämpfung. Leipzig, W. Engelmann.

1889. Rotand, De la myopie et quelques considérations sur son étiologie et sa prophylaxie. Thèse de doctorat.

Schweizer, A., Über die deletären Folgen der Myopie, insbesondere die Erkrankung der Macula lutea. Inaug.-Diss. Zürich.

Seggel, Über die Abhängigkeit der Myopie vom Orbitalbau und die Beziehungen des Conus zur Refraktion. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 2. S. 1.

Stilling, Über das Wachstum der Orbita und dessen Beziehungen zur Refraktion. Arch. f. Augenheilk. XXII. S. 47.

Wingerath, Kurzsichtigkeit und Schule. Berlin, Friedländer.

Cohn, Die neuesten Forschungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Breslauer ärztl. Zeitschr. No. 10.

1890. Berry, On Myopia: A criticism of the discussion at Birmingham. Ophth. Rev. S. 327.

Bravais, Du traitement de la myopie progressive et du choix des verres dans cette affection. Rev. Gén. d'Opht. S. 213.

Cohn, H., Kurze Replik auf die Entgegnung des Prof. v. Hippel betreffs seiner Schrift über Schulmyopie. Zeitschr. f. Schulgesundheitspfl. No. 4.

Cohn, H., Über den Einfluss hygienischer Maßregeln auf die Schulmyopie. Zeitschr. f. Schulgesundheitspfl. No. 1 u. 2.

Fukala, Operative Behandlung der höchstgradigen Myopie durch Aphakie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI, 2. S. 230.

Galezowsky, Etude sur quelques variétés graves de myopie et sur les moyens de les guérir. Rec. d'Opht. S. 513 u. 577.

Hirschberg, Diabetische Kurzsichtigkeit. Centralbl. f. Augenheilk. Jan. S. 7.

Krotoschin, A., Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXII. S. 393.

Martin, Rôle du dynamisme dans la myopie progressive. Gaz. Hebd. des Sc. Méd. de Bordeaux. XI. S. 191.

Mohr, M., Ein Fall von Myopia lentis. Pester med.-chir. Presse. No. 19. S. 436.

Nuël, Une curiosité physiologique de l'oeil myope. Ann. d'Ocul. CIV. S. 43.

Romano, Miopia e conformazione del cranio, osservazioni anthropologiche. Sicilia med. II. S. 864.

Axenfeld, Untersuchung mehrerer Marburger Schulen auf Kurzsichtigkeit. Inaug.-Diss. Marburg.

Bertin-Sans, H., Influence de l'âge sur la refraction oculaire. Gaz. Hebd. des Sc. Méd. de Montpellier. XII. S. 613.

1891. Ayres, S. C., Altération in the refraction of the eye, change from hypermetropia to myopic astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. S. 133.

Bates, W. H., Improvement in the vision of myopia by treatment without glasses. New York med. Journ. S. 455.

Bettrémieux, Glaucome et myopie. Journ. d'Ocul. du Nord de la France. Févr. S. 109. (Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 159.

Deeren, Quelques remarques sur la myopie. Rec. d'Opht. S. 13.

Hasket Derby, Macular changes as influencing the prognosis in advancing myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. 27. Meet. S. 17.

Despagnet, Myopie dans les écoles. Ann. d'Ocul. CVI. S. 291.

Dowling, F., Myopia in the schools of Cincinnati. Times and Reg. New York and Philadelphia. XXIII. S. 61.

Dowling, F., The prevention of myopia. Journ. Amer. med. Assoc. Chicago. XVI. S. 42.

Fernandez-Santos, Extraction du cristallin dans la myopie. Compt. Rend. de la Sect. Opht. du Congr. méd. de Valence.

Fukala, Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Linse. Leipzig und Wien, Fr. Deuticke.

1891. Fukala, A clinical lecture on the advantages of aphakia in severe myopia. Med. Press and Circ. S. 553.

Fukala, Über die Ursache der Verbesserung der Sehschärfe bei höchstgradig myopisch gewesenen Aphaken. Beitrag zur Ursache der höchstgradigen Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXIV. S. 161.

Fukala, Die Beschwerden höchstgradiger Myopen und die durch die Aphakie erzielten Vorteile. Internat. klin. Rundschau. Wien. S. 341, 381, 428.

Fukala, On the injurious influence of the accommodation upon the increase of myopia of the highest degree. Amer. Journ. of Ophth. S. 81.

Gaupillat, Myopie accusée des deux yeux depuis l'âge de six ans chez un sujet de trente ans, corrigée par le port permanent de verres, variant de 3,50 à 6 D. suivant les distances, disparue complétement par suite de paralysie double de l'accommodation. Rev. Gén. d'Opht. S. 279.

Hoor, Carl, Zur Frage der Schulkurzsichtigkeit. Der Militärarzt. Wiener med. Wochenschr. No. 4.

Hutchinson, High degree of myopia stationary through a long life, and in spite of much use of the eyes and enfeebled health. Arch. of Surg. London. S. 357.

Javal, Sur l'hérédité de la myopie. Acad. des Sc. France Méd. No. 34. S. 536.

. Katz, Über die Kurzsichtigkeit. Berlin, Nauck.

Kierulff, B. F., Progressive myopia in school children. South. Calif. Pract. Los Angeles. VI. S. 472.

Nimier, De la myopie chez les candidats aux écoles militaires. Ann. d'Ocul. CVI. S. 15.

Nuel, J. P., D'une apparence ophtalmoscopique de l'oeil myope. Contribution à la connaissance de la prédisposition héréditaire à la myopie. Arch. d'Opht. XII. S. 56.

Ott, Fr., Über die hochgradige Myopie. Inaug.-Diss. Straßburg i. E.

Pöller, A., Experimentalbeiträge zur Myopiehygiene. Arch. f. Hygiene. XIII. S. 335.

Proskauer, Th., Ein Beitrag zur Myopiestatistik. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVI. 2. S. 199.

Hirschberg, Über diabetische Erkrankung des Sehorgans. Deutsche med. Wochenschr. No. 13.

Romano-Catania, A., Contributo allo studio della etiologia della miopia assile. Communicazione fatta al XII. Congresso dell' Associazione Ottalmologica Italiana. Pisa. Settembre 1890. Ann. di Ottalm. XX. S. 322.

Schmidt-Rimpler, Neuere Untersuchungen bezüglich der Schulmyopie. Sitzungsber. d. Ges. z. Beförderung d. ges. Naturwissensch. zu Marburg. S. 6.

Schröder, Th., Die operative Behandlung der hochgradigen Myopie mittelst Entfernung der Linse. St. Petersburger med. Wochenschr. No. 29.

Schröter, Einfluss der Schuljahre auf die Entwicklung der Kurzsichtigkeit. Leipzig.

Theobald, Inherited monocular myopia. John Hopkins Hosp. Bull. Amer. Journ. of Ophth. S. 250.

Vacher, Traitement de la myopie progressive chorioidienne et prophylaxie du décollement de la rétine par l'extraction du cristallin transparent. Soc. d'Opht. de Paris.

Vignes, Myopie dans les écoles. Ann. d'Ocul. CVI. S. 351.

Weiss, Über das Vorkommen von scharfbegrenzten Ektasien am hinteren Pol bei hochgradiger Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 194.

1892. Baas, L., Zur Anatomie und Pathogenese der Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 33.

1892. **Batten**, Myopia the result of constitutional disease. Opth. Rev. S. 1.
Belliard, La myopie scolaire. Ann. d'Ocul. CVIII. S. 53.
Botto, Ricerche sulla posizione ed estensione della regione cieca del Mariotte negli occhi miopi. Ann. di Ottalm. XXII. S. 42.
Bouchard, De la suppression du cristallin transparent comme traitement de la myopie forte ou progressive. Thèse de Paris.
Bock, Untersuchungen über die Erblichkeit der Myopie. Inaug.-Diss. Kiel.
Cohn, Die Augen der Musiker. Berliner klin. Wochenschr. No. 12.
De Mets, La myopie à l'école. Ann. Soc. de Méd. d'Anvers. 1891. S. 315 u. Journ. d'Hyg. S. 441.
Fukala, Der schädliche Einfluss der Akkommodation auf die Zunahme der höchstgradigen Myopie. Berliner klin. Wochenschr. No. 23.
Harlan, G. C., Constant correction of high myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-eighth Meet. S. 373.
Jackson, The full correction of myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-eighth Meet. S. 359.
Knöpfler, Etiologie et prophylaxie de la myopie. Rev. Méd. de l'Est. XXIV.
Gerloff, Beitrag zur Arbeitsmyopie. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg.
Nimier, Statistique de la myopie. Rec. d'Opht. S. 231.
Parent, Vision des myopes aphaques. Rec. d'Opht. S. 117.
Rymsza, **Waclaw**, Vergleichende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Refraktionszustande der Augen und dem Schädelbau. Inaug.-Diss. Dorpat.
Stephenson, S., The relative frequency of myopia among Christians and Jews. Ophth. Rev. S. 110.
Speiser, Über Chorioiditis in macula. Inaug.-Diss. Basel.
Truc, Traitement chirurgical et curatif de la myopie dans les myopies fortes et le keratocône. N. Montpellier Méd. I. S. 117.
Valude, Myopie forte et extraction du cristallin transparent. Rec. d'Opht. S. 113.
Zirm, Doppelseitiger Sternstar, Cataracta stellata, bei mehreren Gliedern einer Familie in Verbindung mit vererbter Myopie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 5.
Wolfe, J. R., Extraction of the transparent crystalline lenses in cases of strong myopia. Brit. med. Journ. S. 305.
Pflüger, Bemerkung zur operativen Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit.
Merkel und Orr, Das Auge des Neugeborenen an einem schematischen Durchschnitt erläutert. Wiesbaden.

1893. **Batten**, R. D., The diagnosis and prognosis of pathological myopia. Med. Press and Circ. London. S. 81 u. Lancet. II. S. 139.
Bock, Untersuchungen über die Erblichkeit der Myopie. Inaug.-Diss. Kiel 1892.
Desbrières, Myopie forte artificielle. Gaz. des Hôp. de Toulouse. Ref. Rec. d'Opht. S. 693.
Eperon, Enquête sur l'état des yeux dans les écoles de Lausanne avec une étude comparative des anomalies visuelles dans les écoles des autres pays et quelques considérations sur les causes de ces anomalies. Lausanne.
Fukala, Mehrjährige Beobachtungen an wegen hoher Myopie extrahierten Augen. Bericht über d. 23. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 191.
Fauvel, De la myopie, ses rapports avec l'astigmatisme. Paris, Steinheil.
Herrnheiser, Die Refraktionsentwicklung des menschlichen Auges. Zeitschrift f. Heilkunde. XIII. 3 u. 4. S. 342.
Hirschberg, Heilung der kurzsichtigen Netzhautablösung nach Ausziehung der getrübten Linse. Centralbl. f. Augenheilk. März.
Biegel, De normale refractie. Toestand van pasgeborenen. Nederl. Tydskr. van Geneesk. No. 2.

1893. Falkenburg und Straub, Über die normale Refraktion des Auges u. s. w. Arch. f. Augenheilk. XXVI.
Jankowsky, B., Beitrag zur Myopiefrage. Mitt. aus Kliniken u. med. Instit. d. Schweiz. 1. Beitr. 2. Heft.
Knoepfler, Contribution à l'étiologie et à la prophylaxie de la myopie, d'après la statistique des yeux myopes observés à la clinique ophtalmologique de Nancy en 1891. Rev. Méd. de l'Est. 15. Okt. 1892.
Marquis, De la myopie monolatérale. Paris, Steinheil.
Moauro, Di alcune alterazioni oculari in malattie epatiche. Lavori della clin. ocul. di Napoli. III. S. 100.
Ohlemann, H., Beitrag zur Schulmyopie. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 168.
Pignatari, Contribution à la pathogenèse du décollement de la rétine dans la myopie. Rec. d'Opht. S. 656.
Rosmini, G. B., La miopia nelle scuole. Corriere san. Milano. IV, 7. S. 1.
Roth, Über eine neue stenopäische Brille (Siebbrille). Arch. f. Augenheilk. XXVII. S. 110.
Schapringer, Zur Erklärung der transitorischen Myopie bei Iritis nebst Bemerkungen über diabetische Kurzsichtigkeit. New York med. Monatsschrift. V. S. 423.
Schapringer, The proximate cause of the transient form of myopia associated with iritis. With remarks on other forms of symptomatic ametropia. Read before the Sect. in Ophth. and Otol. of the New York Acad. of Med. Okt. New York med. Journ. Okt.
Schmidt-Rimpler, H, Zur Myopiefrage. Zeitschr. f. Schulgesundheitspfl. VI. S. 457.
Schnabel, Über Sehstörung durch Suggestion bei Kindern. Prager med. Wochenschr. No. 10.
Schön, Erworbene Brechungsänderungen des Auges. Arch. f. Augenheilk. XXVII. S. 268.
Schweigger, Operative Beseitigung hochgradiger Myopie. Deutsche med. Wochenschr. No. 20.
Sulzer, E., De la myopie dans les écoles de Genève. Rev. Méd. de la Suisse Romande. XIII. S. 24.
Sulzer, E., Quelques faits relatifs au développement de la myopie. Ann. d'Ocul. CX. S. 15.
Thier, Die operative Behandlung höchstgradiger Myopie durch Discission der Linse. Deutsche med. Wochenschr. XIX. S. 717.
Valude, Etude clinique et thérapeutique de la myopie. Ann. d'Ocul. CX. No. 30 et 31.
Wingerath, R., Nochmals Kurzsichtigkeit und Schule. Berlin. Friedberg & Modl.
1894. Ascher, J., Historische und experimentelle Beiträge zur Genese der Myopie. Deutschmann's Beiträge z. Augenheilk. XVI. S. 19.
Ball, Myopia in the public schools. Med. Fortnightly. St. Louis. VI. S. 439.
Carpenter, J. G., The causation of transient increase in the refraction of the eye during iritis; with report of a case. Philadelphia Policl. III. S. 171.
Caspar, Weitere Fälle von ophthalmoskopisch sichtbarer Ektasie am hinteren Augenpol bei hochgradiger Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXVIII. S. 75.
Colburn, J. E., Progressive myopia. Transact. Illinois Med. Soc. Chicago. S. 420.
De Metz, La myopie scolaire. Ann. Soc. de méd. d'Anvers. VI. S. 135.
Dulaney, T. G. jr., Myopia, its treatment by systematic developement of the ciliary muscle. Ophth. Rec. Nashville. IV. S. 178.

1894. Fergus, Patients upon whom the operations of the extraction of the lens had been performed for high degrees of myopia. Glasgow med. Journ. XII. S. 146.

Fukala, Beitrag zur Geschichte der operativen Behandlung der Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 42.

Fukala, Korrektion hochgradiger Myopie durch Aphakie. Wahl des Operationsverfahrens, mit Rücksicht auf die pathologisch-anatomischen Veränderungen der Chorioidea. Transact. of the VIII. internat. ophth. Congr. Edinburgh. S. 181.

Herrnheiser, Die Refraktionsentwicklung des menschlichen Auges. Prag.

Hess, C., und Diederichs, C., Skiaskopische Schuluntersuchungen. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 1.

Herter, Zur Frage einseitiger Blindheit ohne objektiven Befund. Deutsche militärärztl. Zeitschr. No. 9 u. 10.

Hori, Beitrag zur operativen Behandlung der hochgradigen Myopie. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 142.

Jankowsky, B., Beitrag zur Myopie. Inaug.-Diss. Bern.

Kessler, Myopia acquisita tengevolge van andoening der lens. Weekblad. No. 6. S. 167.

Ledbetter, S. L., Myopia in the Birmingham public schools. Alabam med. and Surg. Age. Anniston. VI. S. 299.

Manz, Über operative Behandlung hochgradiger Myopie. Verein Freiburger Ärzte. Münchener med. Wochenschr. S. 1044.

Martin, Etiologie et prophylaxie de la myopie scolaire. Journ. de Méd. de Bordeaux. Nov. et Dec.

Masselon, J., De la sclérectasie nasale dans la myopie. Ann. d'Ocul. CXII. S. 20.

Meigham, T. S., Extraction of the lens for high degrees of myopia. Glasgow med. Journ. S. 168.

Pflüger, Zur Myopiefrage. Zeitschr. f. Schulgesundheitspfl. VII. S. 246.

Risley, The result of treatment and optical corrections in arresting the progress of myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirtieth meet. S. 168.

Schirmer, Entfernung der Linse bei Myopie. Deutsche med. Wochenschr. S. 393.

Schmidt-Rimpler, Zur Myopiefrage. Zeitschr. f. Schulgesundheitspfl. No. 3.

Stafford, H. E., The extraction of clear lenses for myopia; report of five cases. South med. Rec. Atlanta. XXIV. S. 296 u. New York Polycl. III. S. 172.

Stilling, Beruht die hochgradige Myopie auf Inzucht? Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 164.

Stilling, Myopie und Orbitalbau. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Jan. S. 31.

Thier, Beobachtungen über operative Korrektion der Myopie. Transact. of the internat. ophth. Congr. Edinburgh. S. 173.

Thier, Zur operativen Korrektion der höchstgradigen Myopie durch Discission der Linse. Wiener klin. Wochenschr. No. 22.

Triepel, H., Über Sehleistung bei Myopie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XL, 5. S. 50.

Wherry, G., The evil effects of constipation upon myopic eyes. Practitioner. S. 350.

Velhagen, C., Entsteht hochgradige Myopie durch Inzucht? Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 80.

Widmark, J., Über Korrektion von Myopia excessiva durch Extraktion der Linse. Hygiea. S. 23.

Voyburg, Verwydering der Lens by myopie. Weekblad. II. S. 181.

1895. Bitzos, G., Pathogénie de la myopie. Ann. d'Ocul. CXIV. S. 247.

1895. Bock, C., Beitrag zur Statistik der Kurzsichtigkeit. Das österr. Sanitätswesen. No. 4.
Bock, C., Kurzsichtigkeit und Schule. Laibacher Schulzeitung. No. 1—3.
Demicheri, L., Faux lenticone. Ann. d'Ocul. CXIII. S. 93.
Demicheri, L., Examen ophthalmoscopique à l'image renversée sur les yeux fortement myopes. Ann. d'Ocul. CXIII. S. 109.
Dubarry, Traitement opératoire de la myopie forte progressive par l'ablation du cristallin. Normandie méd. No. 21.
Duclos, Etude sur les dimensions du cristallin. Thèse de Bordeaux.
Eperon, De la correction opératoire de la myopie forte. Arch. d'Ophth. XV. S. 750.
Grósz, E., A nagjfökeè rövidlátás operativ kezelésének kérdése. (Die Frage der operativen Behandlung hochgradiger Myopie.) Szemészet. No. 3.
v. Hippel, Über die operative Behandlung der hochgradigen Myopie. Bericht über d. 24. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 17.
Lagleyze, La question de l'extraction du cristallin transparent. La Clin. Opht. Août.
Pergens, Ed., Zur Korrektion der Kurzsichtigkeit durch Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 42.
Pflüger, Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit mittelst Entfernung der Linse. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. No. 20.
Schwarz, Über hysterische Sehschwäche. Bericht d. Heidelberger Ges. S. 210.
Vossius, Über die Behandlung der Myopie nebst Bemerkungen über die Staroperation. Deutschmann's Beiträge z. prakt. Augenheilk. XVIII. S. 48.
Wray, Removal of the lens in high myopia. Ophth. Rev. S. 365.
1896. Adelheim, Ein Fall von hochgradiger (18.0—20.0 D.) progressiver Myopie, in dem die operative Entfernung der Linsen nach Fukala mit Iridektomie die Erkrankung augenscheinlich Beobachtungsdauer nach der Operation über drei Jahre) zum Stillstand brachte. S. 286.
Appenzeller, G., Vorübergehende Myopie bei Diabetes mellitus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Mai. S. 139.
Blessig, Fall von hochgradiger Myopie und Schichtstar. Verein Petersburger Ärzte. Petersburger med. Wochenschr. No. 16 u. 17.
Cohn, H., Operative Heilung hoher Kurzsichtigkeit. Centralbl. f. Kinderheilk. Heft 7.
Cross, On high myopia. Brit. med. Journ. II. S. 633.
Dieckmann, Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Neugeborenenauges. Inaug.-Diss. Marburg.
Eperon, Réponse à la critique de M. Ostwalt, à propos de ma formule pour calculer la réfraction de l'oeil myope à l'état d'aphakie. Arch. d'Opht. XVI. S. 699.
de Haas, Operative Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit. Nederl. Ges. f. Ophth. 13. Dez.
Heilborn, Über eine neue Arbeitsbrille für hochgradige Myopen. Centralbl. f. Augenheilk. S. 77.
Puech, Glaucome et myopie. Rec. d'Ophth. S. 458.
Roure, Myopie, cataractes centrales et leucomes centraux. Ann. d'Ocul. CXIII. S. 393.
Sattler, Über die operative Behandlung der hochgradigen Myopie. Bericht über d. 24. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 25.
Schanz, Über Zunahme der Sehschärfe bei der operativen Beseitigung hochgradiger Kurzsichtigkeit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 1. S. 109.
Schnabel und Herrnheiser, Über Staphyloma posticum, Conus und Myopie. Zeitschr. f. Heilk. XVI.
Spéville, O., Deux cas de glaucome chez les myopes. Clin. Opht. Févr.

1896. Stilling, J., Die dunklen Punkte in der Myopielehre. Zeitschr. f. Schulgesundheitspfl. Hamburg und Leipzig. VIII. S. 1.

Trompetter, J., Verordnungen für Kurzsichtige. Beiträge z. Augenheilk. Festschr. z. Feier d. 70jähr. Geburtst., Herrn Geheimrat Prof. Förster gewidmet. S. 69. Ergänzungsheft zu Arch. f. Augenheilk. XXXI.

Triepel, H., Zur Sehleistung der Myopen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XII, 3. S. 139.

Valude, Du traitement opératoire de la myopie progressive. Acad. des Sc. Séance du 24. déc. Ann. d'Ocul. CXV. S. 59.

Ferri, L., Sulla genesi della miopia negli adulti e nell' infanzia. R. Accad. di Medina di Torino. Seduta del 10 gennajo. Ann. di Ottalm. XXV. S. 113.

Février, L., Recherches sur la pathogénie de la myopie. Ann. d'Ocul. CXVI. S. 166.

Fukala, Beitrag zur hochgradigen Myopie. Bericht über d. 25. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 265.

Fukala, Über einige Mängel bei Bestimmung hoher Myopiegrade und deren Beseitigung. Wiener med. Presse. No. 51 u. 52.

German, Operative Behandlung hochgradiger Myopie. Verein Petersburger Ärzte. Petersburger med. Wochenschr. No. 16 u. 17.

v. Grolman, Ein merkwürdiger Fall von traumatischer Myopie. Zeitschr. f. prakt. Ärzte. No. 9. S. 287.

Heinrich, Zur Kenntnis der Myopie. Arch. f. Ophth. XLII, 3. S. 188.

Jensen, Über Korrektion von excessiver Myopie durch Entfernung der durchsichtigen Linse. Med. Aarsskr. S. 87.

Kayser, B., Über die operative Behandlung der hochgradigen Kurzsichtigkeit. Separatausgabe a. d. Württembergischen med. Korresp.

Lawford, Operative treatment of high myopia. Brit. med. Journ. II. S. 631.

Schubert, Über die Ursachen der Kurzsichtigkeit. Ärztl. Verein in Nürnberg. Sitzung v. 22. Okt. Münchener med. Wochenschr. 1897. S. 213.

Schnabel, Über Schulmyopie. Wiener med. Presse. No. 24.

Sorger, Operative Beseitigung der Myopie. Münchener med. Wochenschr. S. 1270.

Sulzer, Quelques résultats de l'ophtalmométrie clinique. Ann. d'Ocul. CXVI. S. 241.

Silvestri, A., La cura chirurgica della miopia. Settimana med. dello Sperimentale. Anno 50. No. 20, 21 u. 22.

Walter, O., Über operative Behandlung hoher Grade von Kurzsichtigkeit. Ob operationom letschenii wisokich stepenej blisorukosti. Tuchno Russkaia Medizinskaya Garela. V. S. 97.

Weiss, L., Über das Vorkommen von scharf begrenzten Ektasien am hinteren Pol bei hochgradig myopischen Augen. Verhandl. d. Ges. f. Naturf. u. Ärzte. II. S. 327.

Wolff, Ist die Inzucht ein Faktor in der Genese der deletären Myopie? Arch. f. Augenheilk. XXXIII. S. 63.

1897. Axenfeld, Über den Brechungswert der Hornhaut und der Linse beim Neugeborenen u. s. w. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. XV. S. 71.

Dransart, Troisième contribution au traitement chirurgical de la myopie progressive par l'iridectomie et la sclérotomie. Congr. de la Soc. Franç. d'Opht.

Dor, Correction totale de la myopie. Congr. de la Soc. Franç. d'Opht.

Otto, Beobachtungen über hochgradige Kurzsichtigkeit und ihre operative Behandlung. Arch. f. Ophth. XLIII. S. 323 u. 543.

Leber, Bemerkungen über die Sehschärfe hochgradig myopischer Augen vor und nach operativer Beseitigung der Linse. Arch. f. Ophth. XLIII. S. 218

1897. Salzmann, Die Brechungsverminderung durch Verlust der Linse. Arch. f. Augenheilk. XXXIV. S. 152.

Seggel, Über den Einfluss der Beleuchtung auf die Sehschärfe und die Entstehung von Kurzsichtigkeit. Münchener med. Wochenschr. No. 37 u. 38.

Valk, Francis, The curvature of the cornea in reference to the refractive condition of the dioptric apparatus in the two principal meridians. Ophth. Rec. VI, 6 u. 7.

Risley, Refraction in Glycosuria. Transact. Amer. Ophth. Soc.

Hess, Über neuere Fortschritte in der operativen Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit. Zeitschr. f. prakt. Ärzte. No. 14.

1898. Ascher, Weitere Beiträge zur operativen Behandlung der hochgradigen Myopie nebst Bemerkungen über die Behandlung seniler Stare. Ophth. Klinik. No. 14.

Bajardi, Sull' estrazione del cristallino trasparente nella miopia di alto grado. 15. Congr. dell' assoc. ital. Ann. di Ottalm. S. 120. (Auszug.)

Bajardi, Variazioni che subisce l'indice di rifrazione dell' acqueo in varii stati patologici dell' occhio e per svuotamenti ripetuti della camera anteriore. Ann. di Ottalm. S. 101.

Baudot, Traitement de la myopie par la suppression du cristallin ou l'ablation. Thèse de Paris.

De Metz, Le traitement chirurgical des myopies extrèmes. Ann. de la Soc. méd.-chir. d'Anvers. 1897. Ref. Rev. Gén. d'Opht. S. 508.

Demidowitsch, B., Ein Fall von hoher Pseudomyopie. Slutschai loshnoi wisokoi blisorukosti.) Wojenno Medizinsky Journ. 76. Jahrg. Aug.

Distler, Über die operative Behandlung der höchstgradigen Kurzsichtigkeit. Med. Korrespondenzbl. d. Württembergischen ärztl. Landesvereins. LXVII, 27.

Dobrowolsky, Über ungewöhnliche Wirkung des Atropin und Eserin auf das menschliche Auge. Petersburger ophth. Ges. Sitzung v. 4. Febr.

Eperon, Noch einmal die operative Korrektion der hochgradigen Myopie. Antwort an Herrn Dr. Otto. Arch. f. Ophth. XLV, 1. S. 108.

Eperon, Lettre de réclamation. (Formule pour le calcul de la réfraction de l'oeil myope à l'état d'aphakie. Avec réponse du M. Ostwalt. Rev. Gén. d'Opht. S. 521.

Frank Todd, Keratoectasia. Report of a case with transparent cornea. Ophth. Rec. S. 3.

Fröhlich, C., Über spontane und postoperative Kurzsichtigkeitsnetzhautablösungen. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII. S. 11.

Fukala, Zur Geschichte der Heilung hochgradiger Myopie durch Linsenentfernung. Wiener med. Presse. No. 6.

Fukala, Der gegenwärtige Stand der Myopieoperationen. XII. Congr. internat. Sekt. XI. Opht. S. 153 (siehe diesen Bericht. 1896. S. 431).

Gould, Low myopic astigmatism with sub-conjunctival haemorrhage. Amer. med. Assoc. Ophth. Rev. S. 361.

v. Grósz, E., Über die Operation der hochgradigen Kurzsichtigkeit. Orvosi Hetilap. Szemészet. No. 1.

Guttmann, E., Doppelte Refraktion auf einem Auge infolge von Kernsklerose. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juli. S. 493.

Hess, C., Entwicklung und gegenwärtiger Stand der Lehre von der Kurzsichtigkeit. Festschrift. Marburg.

Heine, L., Änderungen in der Gestalt und dem Brechungsindex der menschlichen Linse nach Durchschneidung der Zonula, mit Bemerkungen über den Brechungsindex von Linsen aus myopischen Augen. Bericht über d. 27. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 33.

1898. Hess und Heine, Über das Verhalten des intraocularen Druckes bei der Akkommodation, nebst Bemerkungen über die Akkommodation verschiedener Säugetiere. Arch. f. Ophth. XLVI.

Heine, L., Demonstration mikroskopischer Präparate von hochgradig myopischen Augen. Bericht über d. 27. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 324.

Heine, Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. Arch. f. Augenheilk. XXXVIII. S. 277.

Hess, Über den Einfluss, den der Brechungsindex des Kammerwassers auf die Gesamtrefraktion des Auges hat. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. August.

Herrnheiser, J., Das kurzsichtige Auge. Augenärztliche Unterrichtstafeln. Heft 15. Breslau, J. U. Kern.

Jackson, Edw., Removal of the clear crystalline lens for high myopia. Ophth. Rec. Febr.

Lagrange, Extraction du cristallin transparent. Soc. de Méd. et de Chir. de Bordeaux. Séance du 14. Janv. Ann. d'Ocul. CXIX. S. 219.

Magen. O., Der heutige Stand der operativen Behandlung hochgradiger Myopie nach Fukala. Wiener med. Presse. No. 1 u. Wiener med. Wochenschr. No. 1 u. 2.

Mazurier, Traitement opératoire de la myopie forte. Thèse de Nancy.

Muntendam, P., De operative behandeling der zware myopie. Tydschr. v. Geneesk. II. No. 26.

Nadoleczny, M., Über einen Fall von traumatischer Myopie. Inaug.-Diss. München.

Nattini, Osservazioni cliniche ed anatomo-pathologiche intorno alla cura chirurgica della miopia. XV. Congr. dell' assoc. oftalm. ital. Ann. di Ottalm. XXVIII. S. 126. (Auszug.)

Noyes, Remarks on cases of high myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-Fourth Ann. Meet. S. 330.

Otto, F., Berichtigung der sogenannten Richtigstellung des Herrn Dr. Fukala zu meiner Abhandlung über operative Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLVII, 1. S. 244.

Reinhardt, J., Über die Fukala'sche Operation bei hochgradiger Myopie. Inaug.-Diss. Kiel. (Zusammenstellung.)

Sachs, M., Weitere Bemerkungen zur Myopiefrage. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLVI. S. 621.

Sattler, R., Surgical treatment of excessive myopia. Ophth. Rec. Oct. u. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-Fourth Ann. Meet. S. 338.

Sattler, H., Über ein vereinfachtes Verfahren bei der operativen Behandlung der Myopie und die damit erreichten Ergebnisse. Bericht über d. 27. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 207.

Scheffels, Zur Kasuistik der Dauererfolge in der operativen Behandlung der Kurzsichtigkeit. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 337.

Schreiber, Die Indikation der Myopieoperation. Separatausgabe aus der Festschr. z. Feier d. 50jähr. Bestehens d. med. Ges. zu Magdeburg.

Rogman, Traitement opératoire de la myopie. Ann. d'Ocul. CXXI. S. 50.

Stood, Zur Frage der Myopieoperation. Verhandl. d. Ges. deutscher Naturf. u. Ärzte. 70. Vers. zu Düsseldorf. 2. Teil. 2. Hälfte. Abt. f. Augenheilk. S. 264.

Toedten, Linsenextraktion bei Myopie. Ärztl. Verein in Hamburg. Münchener med. Wochenschr. S. 408.

Vacher, De la suppression du cristallin transparent, comme moyen prophylactique de la myopie très forte et du décollement de la rétine. XII. Congr. internat. Sect. XI. Opht. S. 160.

1898. Voelkers, Operative Behandlung hochgradiger Myopie. Physiol. Verein in Kiel. Münchener med. Wochenschr. S. 437.
Weiss, L., Über das Gesichtsfeld der Kurzsichtigen. Leipzig und Wien, D. Deuticke.
Widmark, Statistische Untersuchungen über die Kurzsichtigkeit. Mitt. aus d. Augenklinik d. Carolin. med.-chir. Inst. in Stockholm.
Wilmer, Surgical treatment of excessive myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-Fourth Ann. Meet. S. 333.
Wolffberg, Zur Kenntnis der Myopie. Wochenschr. f. Therapie u. Hygiene d. Auges. I. No. 14 u. 15.
Wray, Extraction of transparent lens in high myopia. Brit. med. Journ. S. 489.
Zanotti, Du traitement opératoire de la myopie forte progressive par l'extraction du cristallin transparent. Ann. d'Ocul. CXIX. S. 140.
1899. Grimsdale, Über plötzliche Refraktionsänderungen bei Diabetes. Engl. Ophth. Soc. XXVI, 1.
Doyne, Diskussion zu vorstehendem Vortrage.
Peters, Über autosuggerierte Myopie bei Schulkindern. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 246.
Cross, Discussion on the operative treatment of high myopia. Ophth. Soc. Transact. XIX.
Hertel, Ein Beitrag zur Frage der Myopieoperation. Arch. f. Ophth. XLVIII, 2. S. 421.
v. Hippel, A., Über die dauernden Erfolge der Myopieoperation. Arch. f. Ophth. XLIX, 2. S. 387.
Heine, Weitere Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. Arch. f. Augenheilk. XL. S. 160.
Schmidt-Rimpler, Die operative Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit und ihre Indikationen. Therapie der Gegenwart. April.
Zimmermann, Beitrag zur Kasuistik der Myopieoperationen. Ophth. Klinik. April.
1900. Baillart, Traitement chirurgical de la myopie. Thèse de Lyon.
Basso, Contributo clinico alla cura operativa della miopia eccessiva. Pavia, Bizoni. 29 S.
Botwinnik, Zur Frage der Kurzsichtigkeit bei den Juden. (Russisch.) Wratsch. XX. S. 1226.
Cross, Discussion on the operative treatment of myopia. Transact. of the Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. XIX.
de Lusi, La myopie forte et son traitement chirurgical. Thèse de Paris. Ref. Arch. d'Opht. 1901. S. 62.
Dimmer, Über Myopieoperation. Wiener klin. Wochenschr. No. 30.
Dujardin, Un cas de myopie diabétique. Journ. des Sc. Méd. de Lille. No. 29.
Ettinger, Die Myopie und ihre Behandlung. (Polnisch. Pamietnik Tow. lek. warsz. No. 3.
Guende, Myopie traumatique. Marseille méd. 1. Août.
Guende, La myopie traumatique par distension de la zonula de Zinn. Rec. d'Opht. S. 581.
Heine, Hydrophthalmus und Myopie. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg.
Hofer, Staphyloma posticum und Diensttauglichkeit. Der Militärarzt. No. 14 bis 16. Wiener med. Wochenschr. No. 34.
Horn, Ein Beitrag zur Frage der Myopieoperation. Zeitschr. f. Augenheilk. IV. Ergänzungsheft. S. 683.
Javal, Causes de la myopie. Acad. de Méd. 2. Janv.

1900. Ignatjew, Ein Fall von hochgradiger Kurzsichtigkeit im Zusammenhang mit der Frage der Ätiologie der Myopie. (Russisch.) Wojenno Med. Journ. LXXVIII, 3. S. 693.

Janas, Heilbarkeit der Kurzsichtigkeit und ihre Behandlung. Liegnitz. C. Seiffarth.

Kühne, Die Myopieoperationen in der Tübinger Augenklinik. Inaug.-Diss. Tübingen.

Kallock, Surgical treatment of a case of high myopia. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-Sixth Ann. Meet. S. 100.

Schlesinger, Tausend Fälle hochgradiger Kurzsichtigkeit. Deutschmann's Beiträge z. prakt. Augenheilk. Heft 45. S. 127.

Schoen, Tractions mécaniques dans la myopie. Congr. internat. u. Rev. gén. d'Opht. No. 9 u. 10.

Silex, La cura operativa della miopia elevata. Clin. Ocul. S. 26.

Stilling, Über den Conus. Zeitschr. f. Augenheilk. IV. S. 563.

1901. Alexander, Diabetische Myopie. Ärztl. Verein in Nürnberg. Münchener med. Wochenschr. S. 2026.

Baillart, Traitement chirurgical de la myopie, en particulier par la suppression du cristallin. Thèse de Lyon.

Brewer, On the operative treatment of corneal astigmatism. Lancet. June 1.

van der Burgh, J. P., Myopie bij diabetes. Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. II. S. 249.

Dagilaiski, W., Die operative Behandlung der hochgradigen Kurzsichtigkeit. (Russisch.) Therap. Westnik. No. 18.

Dabroslavin, W., Der Einfluss des Akkommodationsapparates des Auges auf den Krümmungsgrad der Hornhaut. (Russisch.) Wratsch. XXII. S. 1341.

Doniselli, C., Un diottrimetro oculare. Ann. di Ottalm. e Lavori della Clin. Ocul. di Napoli. XXX. S. 521.

Fick, A. E., Über das Akkommodieren der Astigmatiker bei ungezwungenem Sehen. Arch. f. Ophth. LII, 1.

Fuchs, Der centrale schwarze Fleck bei Myopie. Zeitschr. f. Augenheilk. V. S. 171.

Gaupillat, Myopie subjective de 5 dioptries dans un oeil de 60 ans, objectivement emmétrope. Clin. Opht. S. 265.

Heine, III. Mitteilung betr. die Anatomie des myopischen Auges. Beginnender Conus, ringförmiger Conus. Arch. f. Augenheilk. XLIII. S. 95.

Heine, IV. Mitteilung betr. die Anatomie des myopischen Auges. Arch. f. Augenheilk. XLIV. S. 66.

Heine, Über Vollkorrektion der Myopie. Bericht über d. 29. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 114.

Hoor, K., Über die sogenannte Schulkurzsichtigkeit. Separatausgabe a. d. Orvos-Természet-ludományi Ertesitö Med. Ärztl. Mitt.

Jackson, Edw., The amount of myopia corrected by removal of the cristalline lens. Journ. of the Amer. Assoc. Nov.

Kamm, Die operative Behandlung der hochgradigen Myopie in der Universitäts-Augenklinik zu Straßburg. Inaug.-Diss. Straßburg.

Kampherstein, Die operative Behandlung der hochgradigen Kurzsichtigkeit in der Augenklinik zu Rostock von 1897—1901. Inaug.-Diss. Rostock.

Kollock, Further remarks upon the surgical treatment of high myopia, with the report of an additional operation. Ophth. Rec. S. 473.

Koster, W. Gzn., De operatieve behandeling der myopie. Ophth. Rec. II. S. 22.

Liebrecht, Zwei Fälle von hochgradiger Myopie. Ärztl. Verein in Hamburg. Münchener med. Wochenschr. S. 1986.

1901. Marschke, Beiträge zur pathologischen Anatomie der Myopie und des Hydrophthalmus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 705.

Meyerhof, Die Myopieoperationen der Bromberger Augenklinik. Arch. f. Augenheilk. XLIV. S. 135.

Neuburger, Plötzlich erworbene Kurzsichtigkeit infolge von Diabetes mellitus. Ärztl. Verein in Nürnberg. Münchener med. Wochenschr. S. 1774.

Petella, De la prétendue myopie de Néron et de son émeraude. Ann. di Med. Navale. VI. Ref. Ann. d'Ocul. CXXVII. S. 154.

Pfalz, Über die Entwicklung jugendlich myopischer Augen unter dem ständigen Gebrauch vollkorrigierender Gläser. Bericht über d. 29. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 103.

Schön, L'accommodation dans l'oeil humain. Arch. d'Opht. XXI. S. 81.

Schulz, M., Myopie und Schulzeit. Inaug.-Diss. Leipzig.

Seggel, Die Bestimmung der Refraktion und Sehschärfe vor und nach operativer Beseitigung der Linse mittelst Optometer. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 539.

Senn, Beitrag zur operativen Behandlung der hochgradigen Kurzsichtigkeit. Arch. f. Augenheilk. XLIII. S. 241.

Smith, Pernicious myopia. Ophth. Rev. S. 331.

Straub, Die normale Refraktion des menschlichen Auges. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorgane. S. 78.

Suter, The dioptric power of the cornea. A reply to Dr. Weiland's criticism. Ophth. Rec. S. 192.

Abschnitt IX.

Hypermetropie.

§ 146. Der hypermetropische Refraktionszustand ist allgemein dadurch charakterisiert, dass parallel auf die Hornhaut auffallende Strahlen im Ruhezustande des Auges sich hinter der percipierenden Netzhautschicht vereinigen. Theoretisch kann Hypermetropie zustande kommen: 1. Bei abnormer Kürze der Augenachse, 2. bei zu schwacher Krümmung der Hornhaut, 3. bei zu schwacher Wölbung der Linsenflächen, 4. bei zu kleinem Totalbrechungsindex der Linse, 5. bei zu kleinem Brechungsindex des Kammerwassers oder 6. zu hohem Brechungsindex des Glaskörpers, 7. bei abnorm großem Abstande der Linse von der Hornhaut, 8. bei Fehlen der Linse. Die weitaus häufigste Form der angeborenen Hypermetropie ist die durch zu geringe Länge der Bulbusachse bedingte.

Eine richtige Vorstellung vom hypermetropischen Refraktionszustande finden wir (nach R. Schirmer) zuerst bei dem Mathematiker Kastner (1755). Er schreibt: »Ich finde keine Unmöglichkeit, dass der Bau eines Auges so beschaffen sein könnte, dass auch entfernte Sachen und folglich nahe noch viel mehr, ihr Bild erst hinter dem Netzhäutchen hätten. Ein solches Auge würde weder parallele, noch auseinanderfahrende Strahlen auf seinem Netzhäutchen sammeln. Seine brechende Kraft wäre zu geringe, wie sie beim Kurzsichtigen zu groß ist . . . ein erhabenes Glas würde ihm Dienst thun.« Für einen solchen Refraktionszustand

schlagt er, entsprechend der Gepflogenheit der damaligen Zeit, Weitsichtigkeit mit Presbytie zu bezeichnen, den Namen »Hyperpresbytas« vor, der sich 100 Jahre lang gehalten hat und noch von STELLWAG (1855) in dem gleichen Sinne gebraucht wurde. Auch JANIN giebt eine korrekte Beschreibung der Hypermetropie, von der er sagt, der Fehler hat viel Ähnlichkeit mit demjenigen, der eine Folge der Operation des Stars ist. Später finden sich bei OLBERS und LISTING zutreffende Angaben über den hypermetropischen Refraktionszustand. Bei WARE, SICHEL, COOPER, BÖHM, RITTERICH, FRONMÜLLER, WELLER u. a. begegnen wir treffenden klinischen Schilderungen. So schreibt WELLER: »In seltenen Fällen liegt die Ursache der Weitsichtigkeit in einem von Jugend auf angestammten flachen Bau des Augapfels, kommt dann schon in den Kinder- und Jünglingsjahren zum Vorschein und ist oftmals in diesem Falle gleichsam angeboren.« In der neueren Zeit hat insbesondere STELLWAG V. CARION in seiner verdienstvollen Arbeit »die Akkommodationsfehler des Auges« bezüglich der Ätiologie, Diagnose und Fernpunktsbestimmung Anschauungen vertreten, die großenteils auch dem heutigen Standpunkte unserer Kenntnisse entsprechen. DONDERS betonte (1858) zuerst den Unterschied zwischen Hypermetropie und Presbyopie, zwischen Refraktions- und Akkommodationsanomalien; er führte auch den Namen Hypermetropie ein (HELMHOLTZ hatte die Bezeichnung Hyperopie vorgeschlagen).

Die Beziehungen zwischen Achsenlänge und Hypermetropiegrad ergeben sich leicht aus dem früher Gesagten: Im reduzierten Auge entspricht einer Achsenverkürzung um 1 mm eine Hauptpunktshypermetropie von ca. 3,3 Dioptrien, einer Verkürzung um 2 bezw. 3 mm eine Hypermetropie von 7,23 bezw. 11,5 Dioptrien. Im schematischen z. B. dem früher angeführten Auge entspricht der Verkürzung um 1 bezw. 2 oder 3 mm eine Hauptpunktshypermetropie von 3,1 bezw. 6,5 und 10,3 Dioptrien; in dem von TREUTLER angegebenen eine solche von 2,8 bezw. 6,0 und 9,6 Dioptrien.

Für die Beziehungen zwischen dem Krümmungsradius des reduzierten Auges und dem Grade der (Krümmungs-) Hypermetropie haben die früher mitgeteilten Tabellen ergeben, dass einer Verkürzung des Radius um 0,2 bezw. 0,4 oder 0,6 mm eine Hypermetropie von 3,2 bezw. 5,6 und 7,74 Dioptrien entspricht.

Das Verhältnis zwischen natürlicher und absoluter Sehschärfe des achsenhypermetropischen Auges bestimmen wir (vgl. § 82) nach der Formel $S = S_n (1 + 0,015 A)$, worin S die absolute d. i. durch Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte ausgeglichene, S_n die natürliche Sehschärfe und A den Grad der Hypermetropie in Dioptrien bedeutet. Für ein achsenhypermetropisches Auge von 10 Dioptrien z. B. ist die absolute Sehschärfe um 15 % größer als die natürliche. Gehen wir nicht vom Ametropiegrade, sondern vom Korrektionsglase aus, so wird, wie wir früher sahen, die natürliche Sehschärfe aus der absoluten erhalten, indem man für jede Dioptrie des nötigen Konvexglases 1,5 % abzieht. Ein durch + 6 bezw. + 20 korrigierter Hypermetropischer hat ohne Glas eine um 9 % bezw. 30 %

kleinere Sehschärfe als seine absolute, mit Glas bestimmte, oder als die des emmetropischen Auges beträgt.

Für das krümmungshypermetropische Auge erhalten wir das Verhältnis seiner absoluten Sehschärfe zu der des normalen Auges, indem wir die den Hypermetropiegrad ausdrückende Dioptrienzahl mit 1,5 multiplizieren; das Produkt giebt an, um wieviele Procent die absolute Sehschärfe des normalen Auges kleiner ist, als die des krümmungshypermetropischen. Bei einer Krümmungshypermetropie von 5 bezw. 10 oder 20 Dioptrien ist die Sehschärfe des normalen Auges um 7,5 bezw. 15 oder 30 % kleiner als die Sehschärfe, welche das hypermetropische Auge mit einem in seinem vorderen Brennpunkte befindlichen Glase hat.

Für geringere Grade von Krümmungshypermetropie kann man eine solche Stellung des Glases ohne merklichen Fehler annehmen. Bei höheren Graden dagegen wird sich das Glas im allgemeinen in geringerem Abstande vom Auge befinden als der vordere Brennpunkt, daher wird die wirkliche Zunahme der Sehschärfe gegenüber jener des normalen Auges nicht ganz so groß sein als die berechnete. Im linsenhaltigen Auge kommen so hohe Hypermetropiegrade kaum vor, dagegen stellt das aphakische Auge (s. d.) eine derartige Ametropieform dar. Die oben berechneten Werte geben auch das Verhältnis zwischen der Sehschärfe des hypermetropischen ohne Glas durch Akkommodation für die Entfernung eingestellten Auges und der Sehschärfe, die das gleiche Auge besitzt, wenn es ohne Akkommodation durch ein korrigierendes Konvexglas auf großen Abstand eingestellt ist.

§ 147. Die Hypermetropie durch Achsenverkürzung ohne anderweitige Störungen beträgt verhältnismäßig selten mehr als 6—7 Dioptrien: Bei Verkürzung der Augenachse um mehr als 2—3 mm findet man häufig auch noch andere Anomalien an dem betreffenden Auge (Mikrophthalmus mit Colobombildung u. s. w.). Vereinzelt sind Hypermetropiegrade von 14 Dioptrien (Marple), 20 Dioptrien (Schön), 24 Dioptrien (Seabrock) ohne schwerere Entwicklungsstörungen der Augen beschrieben. Während bei der Achsenmyopie nur der hintere Abschnitt des Auges gedehnt, dessen übrige Durchmesser aber nicht verändert werden, pflegen bei der Achsenhypermetropie alle Durchmesser des Augapfels kleiner zu sein als normal.

Die Untersuchung solcher Augen ergiebt schon bei mäßigen Graden von Hypermetropie nicht selten, bei höheren sehr häufig eine beträchtliche Herabsetzung der Sehschärfe. Donders vermutete, dass diese zum Teile auf den Bau des Auges bezogen werden könne, da »nur wenn eine kleinere Oberfläche der Netzhaut eine gleiche Anzahl percipierender Elemente besäße wie das emmetropische Auge, die geringere Größe der Netzhautbilder ganz oder teilweise ausgeglichen werden könne«.

Die Unhaltbarkeit dieser Vermutung hat **Mauthner** dargethan durch den Nachweis, dass selbst bei einer Achsenhypermetropie von 12 Dioptrien, die durch Akkommodation gedeckt wird, der erwähnte Umstand die Sehschärfe nur von $^{20}/_{20}$ auf $^{17}/_{20}$ herabsetzen würde. Zudem können ja die Netzhautbildgrößen durch korrigierende Gläser jenen des emmetropischen Auges gleich und noch größer als diese gemacht werden. Trotzdem wird dadurch die Sehschärfe des Übersichtigen im allgemeinen nicht der normalen gleich. Die Erklärung für diese Herabsetzung ist vielleicht auf eine Störung in der Entwicklung des percipierenden Apparates zu beziehen; doch liegen bisher anatomische Befunde hierüber nicht vor. (Möglicherweise kommen auch Unregelmäßigkeiten der Krümmung der Hornhautoberfläche (**Sulzer** u. a.) in Betracht.)

Während die Achsenmyopie fast ausnahmslos einen erworbenen Zustand darstellt, findet man die Achsenhypermetropie in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle angeboren. Erworbene Übersichtigkeit durch Annäherung der lichtempfindlichen Netzhautschicht an die Linse ist offenbar sehr selten, so z. B. durch Ablösung der Netzhaut mit Erhaltung ihrer Funktionsfähigkeit oder durch Vordrängung der gesamten hinteren Bulbuswand infolge von retrobulbären Geschwülsten. Dass eine Hypermetropie sich entwickeln könne durch Abnahme des gesamten Bulbusinhaltes, dem sich die elastische Sclera anschließt (wie **Horner** für die während eines schweren Diabetes erworbene Hypermetropie annahm), ist mir wenig wahrscheinlich. **Mauthner** hält indes eine durch Schrumpfung des Augapfels im Alter erworbene Hypermetropie für »sicher« vorkommend. **Snellen** beobachtete starke Hypermetropie nach Ruptur der Hornhaut und Sclera mit Glaskörpervorfall; nach glatter Heilung war der Druck stark herabgesetzt.

Bei dem Interesse, das die durch ablatio retinae erworbene Hypermetropie für die Frage nach der Dauer der Funktionsfähigkeit einer abgelösten Netzhaut besitzt, sei eine diesbezügliche Beobachtung ausführlicher mitgeteilt. **Horner** fand bei einem 61 jährigen Manne mit Myopie von 8 Dioptrien und $^{1}/_{5}$ Sehschärfe eine allmählich größer werdende Netzhautablösung und dementsprechend ging die Kurzsichtigkeit bis auf ca. 2 Dioptrien zurück. 4 Wochen später war sogar Hypermetropie von mehr als 1 Dioptrie vorhanden und das Sehen auf $^{1}/_{3}$ gestiegen. Nach 2 Jahren war die Netzhaut wieder angelegt, wieder eine Myopie von ca. 7 Dioptrien und Sehschärfe = $^{1}/_{3}$ vorhanden.

Dass durch dem Bulbus anliegende Geschwülste eine Einknickung sämtlicher Augenhäute stattfinden kann, ist durch Untersuchungen von **Hirschberg**, **Leber**, **Haab** u. a. nachgewiesen. **Gould** hat (1896) angegeben, dass bei Kranken, die rasch an Gewicht ab- bezw. zunahmen, eine Verminderung bezw. Erhöhung der Refraktion erfolgte. Bei 2 Patienten soll Gewichtszunahme um 30 bezw. 40 Pfund eine Abnahme der Myopie um 0,62 und 1,21 Dioptrien (bei dem ersten) bezw. um 1 Dioptrie (bei dem zweiten Patienten) zur Folge gehabt haben. Bei einem Knaben, der in 15 Monaten 40 Pfund abnahm und dabei stark wuchs, hatte die Brechkraft um 2 Dioptrien zugenommen. (Gould glaubt diese Änderungen auf Zu- bezw. Abnahme des Augenhöhlenfettes beziehen zu sollen.

Diesen verhältnismäßig spärlichen Angaben gegenüber stellt die große Mehrzahl der Fälle von ausgesprochener Hypermetropie einen angenähert stationären, während des Lebens im allgemeinen sich nur wenig ändernden Refraktionszustand dar. Dies geht u. a. schon mit großer Wahrscheinlichkeit aus den früher erwähnten Zusammenstellungen von **Herrnheiser** hervor (s. § 118). Die Frage, ob die geringeren Hypermetropiegrade durch Wachstum des Auges abnehmen, ist zuerst von **Hansen**, später von **Randall**, **Herrnheiser** u. a. erörtert worden; **Hansen** kommt zu dem Ergebnisse, dass die Hypermetropie im allgemeinen mit zunehmendem Alter etwas abnehme, sodass die Differenz in 5 Jahren ca. 1 Dioptrie betrage; auch nach **Randall** ist eine mäßige Abnahme der Hypermetropie durch Wachstum zu konstatieren. **Herrnheiser** folgert aus seinen Zahlen nicht, dass Hypermetropie durch Längenwachstum des Auges abnehme, sondern stellt nur die Thatsache fest, dass die Durchschnittsrefraktion beim Erwachsenen um 1,5 Dioptrien höher sei, als beim Neugeborenen. Diese Abnahme der Hypermetropie führt **Straub** auf einen im Interesse des deutlichen Sehens eintretenden Tonus des Ciliarmuskels zurück.

§ 148. Während der Kurzsichtige die Brechkraft seines optischen Systems im Interesse eines besseren Sehens für die Ferne nicht aktiv ändern kann, vermag der Übersichtige seine Ametropie durch Akkommodation mehr oder weniger vollständig zu korrigieren, sodass deutliches Sehen in der Ferne möglich wird. So lange er keine Gläser trägt, kommt er nicht in die Lage, im Interesse des deutlichen Sehens seine Akkommodation vollständig zu entspannen; infolge davon tritt in der Regel, sobald dem Auge ein Fixierobjekt geboten ist, eine gewisse Kontraktion des Ciliarmuskels ein; selbst wenn Konvexgläser vorgehalten werden, die ein deutliches Sehen in der Ferne ohne Akkommodation ermöglichen, erfolgt wenigstens anfänglich diese Muskelkontraktion noch, obschon sie unter solchen Verhältnissen das deutliche Sehen hindert. Dagegen pflegt der Hypermetropische im allgemeinen den Ciliarmuskel zu entspannen, wenn seinen Augen kein besonderes Sehobjekt geboten ist, z. B. im Dunkeln (**Mauthner**). Diese Thatsachen liegen der Einteilung der Hypermetropie in manifeste (H_m), latente (H_l) und totale (H_t) zu Grunde.

Als manifesten bezeichnet man denjenigen Teil der Hypermetropie, der bei der üblichen, subjektiven Sehprüfung mit dem stärksten Konvexglase gefunden wird, das die beste Sehschärfe für die Ferne ergiebt. Man erhält also damit ein Maß für die Minderung der Spannung des Ciliarmuskels, deren der Hypermetropische beim ersten Vorsetzen von Gläsern im Interesse des deutlichen Sehens fähig ist. Die latente Hypermetropie stellt jener Teil der Muskelkontraktion dar, der trotz des Interesses am deutlichen Fernsehen bei der ersten Prüfung mit Gläsern nicht aufgegeben wird. Die

totale Hypermetropie entspricht der durch den optischen Bau des Auges bedingten Refraktion bei wirklich ganz entspanntem Ciliarmuskel und ist gleich der Summe der manifesten und latenten ($H_m + H_l = H_t$).

§ 149. Das Größenverhältnis zwischen manifester und latenter Hypermetropie wird in erster Linie durch das Alter des Hypermetropischen, dann auch durch das Tragen von Gläsern beeinflusst; wenn man den Übersichtigen Gläser von allmählich zunehmender Stärke genügend lange tragen lässt, so wird die latente Hypermetropie immer kleiner und schließlich die totale Hypermetropie manifest. Wir erörtern zunächst das Verhältnis zwischen H_m und H_l in den verschiedenen Lebensaltern, wenn keine Gläser getragen waren. Es ist einleuchtend, dass mit abnehmender absoluter Akkommodationsbreite der latente Teil der Hypermetropie kleiner werden muss; so wird z. B. bei Akkommodationslähmung (nach Diphtherie u. s. w.) während der Dauer der Lähmung die totale Hypermetropie manifest.

Die Zunahme der manifesten Hypermetropie mit dem Alter scheint im allgemeinen in ziemlich regelmäßiger Weise vor sich zu gehen. (Jackson [1892] steht wohl allein mit der Meinung, dass latente Hypermetropie etwas Abnormes und der etwa latente Teil in jedem Alter ungefähr gleich sei.) Donders gab an, dass mit 20 Jahren ungefähr die Hälfte, mit 40 mehr als $^3/_4$ der totalen Hypermetropie manifest seien. Eingehendere Untersuchungen hierüber haben später Schröder und Daniel vorgenommen, letzterer an der Hand eines ziemlich großen statistischen Materials aus der Hirschberg'schen Klinik. Er kommt zu dem Ergebnisse, dass das Verhältnis $H_m : H_t$ bei unkomplizierter Hypermetropie in 70—80% der untersuchten Fälle beträgt:

Im Alter von 6—15 Jahren : $^1/_3$,
16—25 : $^1/_2$,
25—36 : $^2/_3$—$^3/_4$,
36—45 : 1;

nach dem 46. Jahre werde H_m stets gleich H_t gefunden.

§ 150. Zur Erklärung der latenten Hypermetropie ging Cl. du Bois Reymond von der folgenden Überlegung aus: Die Akkommodationsleistung eines Kindes im ersten Lebensjahre lässt sich — unter entsprechender Verlängerung der Donders'schen Kurve — auf ca. 20 D. schätzen. Du Bois-Reymond denkt sich die Thätigkeit des Ciliarmuskels in 20 gleich große Teile zerlegt, deren jeder in der ersten Kindheit einer Dioptrie entspricht; er bezeichnet einen solchen Impuls als Entonie. Weiter geht er nun von der Voraussetzung aus, dass diese 20 Entonien während des ganzen Lebens konstant bleiben, sich aber entsprechend der mit den Jahren fortschreitenden Abnahme der Akkommodationsbreite auf eine allmählich kleiner

werdende Zahl von Dioptrien gleichmäßig verteilen, sodass z. B. im Alter von 20 Jahren die 20 Entonien auf 10 Dioptrien verteilt wären, einer Entonie daher nur noch ½ Dioptrie Brechkrafterhöhung entspräche u. s. w. In weiterer Entwicklung dieser Auffassung kommt er für den Wert der latenten Hypermetropie zu der Proportion $\frac{H_l}{H_t} = \frac{A}{20}$, worin A die Akkommodationsbreite des jeweiligen Lebensalters bedeutet. Du Bois findet die nach dieser Formel berechneten Werte in genügender Übereinstimmung mit den oben angeführten, empirisch bestimmten von Daniel.

Es würde sich hiernach ergeben:

Im 10. Jahre	H_l = 0,7	der totalen Hypermetropie.
20.	» 0,5	
30.	» 0,35	»
40.	» 0,22	

(Eine ähnliche Ableitung hatte bereits 1882 v. Schröder gegeben, bei dem Versuche, die Zunahme der manifesten Hypermetropie mit dem Alter zu erklären. Er meinte, ein Übersichtiger lerne in sehr früher Jugend die zum Fernsehen nötige Muskelleistung aufbringen; er behalte diese auch in späteren Jahren beim Sehen in die Ferne bei, aber dieselbe Leistung habe mit zunehmendem Alter eine immer kleinere Wirkung.)

Diese Auffassungen entsprechen nicht mehr unseren heutigen Kenntnissen vom Akkommodationsmechanismus. Du Bois meinte, die Gesamtleistung des Ciliarmuskels bei Einstellung auf den Nahepunkt sei in allen Lebensaltern die gleiche, nur der Effekt dieser Leistung nehme im Alter ab. Danach würden also alle Ciliarmuskelkontraktionen im manifesten Gebiete erfolgen, der Nahepunktseinstellung entspräche stets maximale Ciliarmuskelkontraktion; dies trifft aber, wie wir sahen, nicht zu. Die Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Konvergenz und Akkommodation (s. den Abschnitt über das Sehen mit 2 Augen) machen es wahrscheinlich, dass im manifesten Akkommodationsbereiche jeder »Entonie« von du Bois-Reymond während des ganzen Lebens angenähert der gleiche dioptrische Effekt entspricht, während im latenten Bereiche der Effekt aller »Entonien« = 0 ist. Die Gesamtleistung des Ciliarmuskels bei der Nahepunktseinstellung ist demnach im Alter nicht gleich jener in der Jugend, sondern wesentlich kleiner. Von den 20 im ersten Jahre disponiblen Entonien wird mit zunehmendem Alter ein immer kleiner werdender Bruchteil benutzt, obschon die Fähigkeit der Ciliarmuskelkontraktion im wesentlichen unverändert geblieben sein kann.

Die Abnahme der latenten Hypermetropie mit dem Alter lässt sich etwa durch die folgende Überlegung verständlich machen: Ein jugendlicher Patient mit einer totalen Hypermetropie von 5 D. und einer Akkommodationsbreite von 12 D. wird zum Sehen in der Nähe und Ferne ganz

vorwiegend seine fünfte bis zwölfte »Entonie« benutzen; eine geringere Anspannung, als 5 D. entspricht, ist für ihn ohne Wert; dadurch entwickelt sich beim Sehen eine Art mittleren Kontraktionszustandes im Ciliarmuskel (den man etwa als Tonus bezeichnen kann); er würde in unserem Beispiele ungefähr einer Leistung von ca. 7—8 D. entsprechen. Durch mäßige Vermehrung dieser Ciliarmuskelkontraktion könnte das Auge auf den Nahepunkt (= 12 D.) eingestellt werden, durch Verminderung um den angenähert gleichen Betrag die Akkommodationsspannung auf ca. 3 D. herabgemindert werden, was etwa der manifesten Hypermetropie entspräche. Wenn mit zunehmendem Alter die Akkommodationsbreite des gleichen Patienten auf 6 D. zurückgegangen ist, so sind auch die sechste bis zwölfte »Entonie« für ihn wertlos geworden, da eine solche Kontraktion seines Ciliarmuskels keine Änderung der optischen Einstellung mehr zur Folge hat. Der mittlere Tonus von 7—8 D. würde also unzweckmäßig sein. Wenn aber der mittlere Kontraktionszustand jetzt nur einer Leistung von etwa 3—4 D. entspricht, so würde durch Steigerung um 2—3 D. leicht die zur Einstellung auf den Nahepunkt nötige Kontraktionsgröße aufgebracht werden können; bei entsprechender Verminderung würde sich eine latente Hypermetropie von ungefähr 1 bis 2 D. ergeben.

Nach dieser Auffassung würde sich also der Ciliarmuskel mit seinem mittleren Kontraktionszustande den in den verschiedenen Altern an ihn gestellten Anforderungen anpassen. Die Physiologie bietet für eine solche Annahme manche Analogie.

Den Grad der totalen Hypermetropie bestimmte man früher vielfach so, dass man die Ciliarmuskelspannung durch Atropin aufhob. Wir sahen aber, dass die bei so weiter Pupille ermittelten Refraktionswerte nicht ohne weiteres den bei enger gefundenen gleichgesetzt werden dürfen, denn infolge der peripheren Abflachung der Hornhaut- und Linsenflächen (und wohl auch infolge einer Abnahme des Brechungsindex der Linse gegen den Äquator hin) kann die totale Hypermetropie bei sehr weiter Pupille merklich anders gefunden werden, als sie bei enger Pupille, aber gleichfalls völlig entspanntem Ciliarmuskel gefunden würde. Seitdem Mauthner gezeigt hat, dass die latente Hypermetropie schwindet, wenn der Hypermetropische im Dunkelzimmer ohne Fixierobjekt die Augen in die Ferne richtet, wird als Ausdruck der totalen Hypermetropie in der Regel der bei Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde oder mittels der skiaskopischen Methode im Dunkelzimmer ermittelte Wert angesehen.

§ 151. Über die Anatomie des hypermetropischen Auges sind wir verhältnismäßig wenig unterrichtet. Wir sahen oben, dass das Auge meist in allen Dimensionen kleiner ist, als ein normales; doch ist häufig die sagittale Verkürzung ausgesprochener als die Verkleinerung der anderen

Durchmesser. Die Hornhaut kann normal sein, oft ist auch ihr Durchmesser kleiner, als im normalen Auge; Wölbungsanomalien (insbesondere Astigmatismus) sind verhältnismäßig häufig. Die vordere Kammer ist im hypermetropischen Auge fast immer flacher als im normalen; dies ist zu einem Teile darauf zurückzuführen, dass die Linse, die sich ja im wesentlichen unabhängig von den Augenhüllen entwickelt, dem kleinen Auge gegenüber verhältnismäßig groß ist, zum anderen Teile darauf, dass der Ciliarmuskel des Hypermetropischen sich im allgemeinen dauernd in einem der latenten Hypermetropie entsprechenden Kontraktionszustande befindet, der eine entsprechende Vermehrung der Linsenwölbung und Vorrücken des

Fig. 88.

vorderen Linsenscheitels zur Folge hat. Nach Iwanoff's Untersuchungen über den Bau des Ciliarmuskels bei verschiedenen Refraktionszuständen soll beim Kurzsichtigen der Muskel nur aus der Brücke'schen Partie bestehen, die Müller'sche beinahe gänzlich fehlen. Bei hypermetropischen Augen dagegen von 19—20 mm Achsenlänge, die 40- bis 45jährigen Personen angehört hatten, fand er den hinteren Teil des Muskels auf Kosten des stark entwickelten vorderen »atrophiert«; es ließ sich zeigen, dass die Verschiedenheit nicht von der Anordnung und Gestalt der Ciliarfortsätze, sondern vom Baue des Muskels abhing; die circulären Fasern waren mächtig entwickelt. Nebenstehendes Schema (Fig. 88, nach Iwanoff) giebt die Konturen des Muskels im hypermetropischen, emmetropischen und myopischen Auge.

Die starke Entwicklung der ringförmigen Muskelpartie im hypermetropischen Auge ist aber nicht ohne weiteres mit der gesteigerten Inanspruchnahme des Muskels in Zusammenhang zu bringen. Iwanoff selbst bemerkt schon: »Diese beiden Muskeltypen sind nicht absolut und unumgänglich mit Kurz- und Weitsichtigkeit verknüpft, da es mir begegnet ist, wenigstens bei Fernsichtigen einen Ciliarmuskel mit schwach entwickeltem Müller'schen Muskel zu finden.« Ich selbst habe in einem hochgradig myopischen Auge einen Ciliarmuskel von ausgesprochen hypermetropischem Charakter getroffen. O. Lange fand in den Augen Neugeborener, wo also die Wirkung des verschiedenen Gebrauches noch nicht zur Geltung hat kommen können, am Ciliarmuskel in einem Teile der Fälle Vorwiegen der longitudinalen Fasern, in einem anderen Teile Vorwiegen der circulären.

Eine befriedigende Erklärung für das erwähnte Vorwiegen der Brücke'schen Partie in kurzsichtigen Augen fehlt noch; eine negative Akkommodation, die die Erscheinung etwa erklären könnte, ist bisher nicht erwiesen und aus verschiedenen Gründen sehr unwahrscheinlich (s. o.). Übrigens fehlen noch genügend zahlreiche Untersuchungen über die Häufigkeit der Erscheinung. Lange schreibt: »der Ciliarmuskel im ausgewachsenen hypermetropischen Auge besteht nicht, wie Iwanoff meint, deshalb vorzüglich aus circulären Fasern, weil diese infolge angestrengter Akkommodationsthätigkeit hypertrophisch geworden sind, sondern das Auge ist hypermetrop geblieben, weil die circuläre Portion seines Ciliarmuskels von vornherein stark angelegt war, eine Zerrung der Chorioidea resp. des hinteren Augapfels bei der Akkommodation somit nicht stattzufinden brauchte.« Wir haben bei Besprechung der Myopie die Gründe erörtert, welche gegen die Annahme eines Zusammenhanges zwischen Ciliarmuskelkontraktion und Entstehung der Achsenmyopie sprechen.

Bei Beurteilung der histologischen Befunde an hypermetropischen Augen Erwachsener dürfen wir nicht vergessen, dass das Bild des sogenannten hypermetropischen Muskels nicht notwendig eine Hypertrophie desselben bedeuten muss; es wäre nicht undenkbar, dass infolge des starken Tonus der Muskel im hypermetropischen Auge in etwas mehr kontrahiertem Zustande fixiert werden kann, als bei geringem oder fehlendem Tonus.

Schon in einem früheren Abschnitte wurde darauf hingewiesen, dass im hypermetropischen Auge der Winkel zwischen einer in der Mitte der Hornhautbasis errichteten Senkrechten und der Blicklinie (γ) häufig besonders groß gefunden wird, was insbesondere für das Verständnis des sogenannten scheinbaren Strabismus von Bedeutung ist.

Donders fand diesen Winkel im Durchschnitte bei Hypermetropie = 7° 55′, bei Emmetropie = 5° 082′, bei Myopie = 2°. Mauthner maß bei Hypermetropie γ = 6,53°, bei Emmetropie = 4,91°, bei Myopie = 2,75°.

Das Maximum bei den Donders'schen Messungen an hypermetropischen Augen betrug 11° 3′, das Minimum 6°. Da wir die Augenstellung nicht nach den Blicklinien, sondern nach den Symmetrieachsen der Hornhaut

beurteilen, so muss, wie schon früher kurz angeführt werde, bei parallel gestellten Blicklinien durch einen großen $\angle \gamma$ divergierendes Schielen vorgetäuscht werden. Die Ursache für die beträchtliche Größe des $\angle \gamma$ im übersichtigen Auge sollte nach DONDERS zu einem Teile darin zu suchen sein, dass auch bei normalem Abstande zwischen der Fovea l (Fig. 89) und dem hinteren Endpunkte g der »Hornhautachse« Verkürzung des sagittalen Durchmessers des Auges eine Vergrößerung des Winkels γ zur Folge habe; zum anderen Teile darin, dass der gelbe Fleck im hypermetropischen Auge weiter vom hinteren Pole des Auges entfernt sei, als im emmetropischen. MAUTHNER lässt nur die letztere Erklärung zu und weist die Unhaltbarkeit der ersteren Annahme nach (s. § 35).

Fig. 89.

§ 152. Im Anschlusse an die geschilderten anatomischen Befunde besprechen wir die bei Achsenhypermetropie öfter beobachteten ophthalmoskopischen Veränderungen, soweit es sich dabei nicht um schwerere Entwicklungsanomalien, wie Kolobombildung u. s. w. handelt. Wiederholt ist das Auftreten einer leichten Rötung und Schwellung des Sehnervenkopfes, dessen Grenzen verwaschen erschienen, beobachtet worden. Solches wurde, soweit ich sehe, zuerst von MACKENZIE, bald danach von BRISTOWE und M. GUNN u. a., später von ARNFELD, NOTTBECK und SPICER eingehend geschildert und als Neuritis Hypermetropum, richtiger wohl als Pseudoneuritis bezeichnet. Denn klinisch unterscheidet sich diese Anomalie wesentlich von der wirklichen Neuritis, indem sie durch viele Jahre stationär bleibt, nicht in Atrophie übergeht, im allgemeinen nicht mit nennenswerten Funktionsstörungen verknüpft ist, und dass sich nie, wie bei der wirklichen Neuritis, kleine, weiße Herde oder Blutungen finden. Nach BRISTOWE sollen 23,2 % der Übersichtigen diese Veränderung zeigen, während NOTTBECK die meiner Meinung nach zutreffendere Angabe macht, dass die hypermetropische Papille bei ca. 3 % der Hypermetropischen vorkomme. Die nahe Beziehung der Scheinneuritis zur Hypermetropie geht u. a. daraus hervor, dass NOTTBECK bei 37 Fällen dieser Anomalie 34 mal Übersichtigkeit von 1—7 D. fand. Gegen die verbreitete Annahme, dass sie Folge einer Akkommodationsüberanstrengung sei, wendet sich NOTTBECK mit Recht, indem er u. a. darauf hinweist, dass keinerlei Zusammenhang zwischen dem Grade der Hypermetropie und dem Grade der Papillenveränderung nachweisbar ist und dass diese weder durch fortgesetzte stärkere Inanspruchnahme der Akkommodation, noch durch Konvexgläser merklich beeinflusst wird. Er sieht die Veränderung als angeborene Anomalie an. In einer

Reihe von Fällen kann die Differentialdiagnose zwischen dieser und der wirklichen Neuritis erst durch längere Beobachtung sichergestellt werden. (Vereinzelt ist die Angabe DOBROWOLSKI's, der eine diffuse Netzhautblutung in einem hypermetropischen Auge auf starke Akkommodation bezieht, da die korrigierenden Gläser den Zustand rasch besserten; er führt auch eine Bemerkung von ADAMÜCK an, wonach bei »Retinitis idiopathica« oft Hypermetropie gefunden werde.)

Dass die physiologische Exkavation bei Hypermetropischen nicht häufiger oder stärker ausgesprochen vorkommt, als bei anderen Refraktionszuständen, hat u. a. HERRNHEISER nachgewiesen, dessen Angaben ich nach meinen eigenen Beobachtungen durchaus bestätigen kann. Diese Thatsache widerspricht der bekannten Annahme SCHÖN's, dass jene Exkavation durch Zerrung infolge starker Akkommodationsanstrengung zustande komme.

§ 153. Das eigentümliche, als akkommodative Asthenopie bezeichnete Krankheitsbild ist im wesentlichen dadurch charakterisiert, dass der Betroffene nicht durch längere Zeit andauernd in der Nähe scharf sehen kann. Versucht er das scharfe Sehen zu erzwingen, so kann er dies wohl vorübergehend erreichen, doch tritt bald Undeutlichsehen, Verschwimmen des fixierten Gegenstandes ein, und zwar um so rascher, je öfter der Versuch wiederholt und damit das Auge angestrengt wird. Nach längerer Erholungspause ist dann die Nahearbeit wieder möglich, doch werden im allgemeinen immer längere Pausen nötig und die Zeit wird immer kürzer, während welcher noch gut in der Nähe gesehen werden kann. Zu diesen zunächst nur die Deutlichkeit des Sehens beeinträchtigenden Störungen treten in der Regel bald unangenehme Empfindungen von Druck im Auge, die sich zu ausgesprochenem Schmerzgefühle steigern können; ein von den Augen zur Augenbrauengegend und bis in die Stirn ausstrahlender Schmerz wird vielfach, wie mir scheint mit Recht, als besonders charakteristisch für diese Form von Asthenopie angesehen; er tritt in manchen Fällen sofort beim Versuche in der Nähe zu sehen auf, zuweilen so heftig, dass jede Nahearbeit unmöglich wird.

Das hier kurz geschilderte Krankheitsbild wurde früher vielfach mit Amblyopie zusammengeworfen, u. a. als Hebetudo visus, Kopiopie, Augenschwäche bezeichnet und auf eine Erkrankung der Netzhaut bezogen. DONDERS wies zuerst mit Bestimmtheit den Zusammenhang mit Hypermetropie nach und führte die asthenopischen Beschwerden auf Überanstrengung des Ciliarmuskels zurück. In der That muss ja der Hypermetropische, so lange er keine Gläser trägt, sowohl zum Fern- als zum Nahesehen seinen Ciliarmuskel stärker in Anspruch nehmen als der Emmetropische, im allgemeinen um so stärker, je höher der Hypermetropiegrad ist, und es müssen deshalb im großen und ganzen die Beschwerden

mit dem Grade der Hypermetropie zunehmen. Doch kommen dabei beträchtliche Verschiedenheiten vor je nach der Konstitution des Patienten, der Art seiner Beschäftigung, dem Abstande, in welchem bei ihr die Augen gebraucht werden u. a. m. (Das Verhalten der höchstgradig Hypermetropischen wird gesondert zu besprechen sein. Eine bestimmte Grenze, von der an die asthenopischen Beschwerden etwa regelmäßig auftreten, ist also nicht anzugeben; in manchen Fällen scheint schon eine Hypermetropie von 0,5 Dioptrien bei längerer Nahearbeit Asthenopie hervorrufen zu können. Der für die vorliegende Frage sehr wichtige Zusammenhang zwischen Konvergenz und Akkommodation wird in einem späteren Abschnitte (XII) eingehender erörtert, doch müssen einige Bemerkungen über die Asthenopie in verschiedenen Lebensaltern schon hier Platz finden. Donders giebt an, »dass das Lebensjahr, in welchem Asthenopie auftritt, ziemlich dem Nenner des Bruches entspricht, durch welchen die bedingende Hypermetropie (in Zollen) bezeichnet wird. Bei Hypermetropie = $^1/_{10}$ (= 4 Dioptrien) können wir mit dem 10., bei Hypermetropie = $^1/_{25}$ nicht vor dem 25. Lebensjahre den Beginn der Asthenopie erwarten, bei Hypermetropie = $^1/_{40}$ verbindet sie sich ums 40. Jahr mit Presbyopie und die Symptome werden dann weniger charakteristisch.« Ähnlich äußert sich Mauthner dahin, dass mit zunehmendem Alter »durch den normalen Gang in der Abnahme der Akkommodationsbreite, wie dies die vorschreitenden Jahre mit sich bringen, die an den Akkommodationsmuskel gestellten Anforderungen trotz guter Energie nicht mehr erfüllt werden können.«

Auch diesen Auffassungen liegt die Voraussetzung zu Grunde, dass die zur Einstellung auf einen bestimmten Abstand nötige Ciliarmuskelkontraktion mit zunehmendem Alter immer größer werde. Eine solche Annahme ist aber, wie wir sahen, durch keinerlei Thatsachen gestützt, gegen ihre Richtigkeit spricht vielmehr eine Reihe von Befunden, welchen wir bei Erörterung der relativen Akkommodationsbreite begegnen werden. Wäre die fragliche Anschauung richtig, so müsste man erwarten, dass der Emmetropische bei beginnender Presbyopie gleichfalls Asthenopie bekäme, wie dies in der That von Stellwag angenommen wurde, der angab, dass »in den meisten Fällen die Normalsichtigkeit unter den Erscheinungen der Asthenopie in die Presbyopie übergehe«; auch heute begegnen wir dieser Auffassung noch bei einer Reihe von Ophthalmologen.

Donders giebt zwar ganz richtig an, dass man von Presbyopischen selten höre, »dass die Arbeit ermüdet«, mehr werde geklagt, »dass das Sehen nicht scharf sei«, doch nimmt er an, das Auge spanne »seine Akkommodation schon ziemlich stark an (noch stärkere Anspannung hat keine verhältnismäßige Wirkung) ohne Hindernis, ohne Ermüdung«. Auch Mauthner ist der Meinung, dass zur Einstellung z. B. auf Leseentfernung im Alter mehr Ciliarmuskelarbeit nötig sei, als in der Jugend; aber auch er

betont, dass der Presbyopische »in der Regel nicht in Asthenopie verfällt«, denn er verschmähe, seinen Akkommodationsmuskel zur stärksten Leistung anzuspannen, weil »eine selbst bis zur äußersten Grenze fortschreitende Kontraktion des Ciliarmuskels die Gestalt der Linse nur so wenig zu ändern vermag, dass gegenüber dieser äußersten Leistung, welche rasch zu Ermüdungserscheinungen führen würde, ein praktischer Erfolg nicht erzielt wird.«

Nach diesen Auffassungen würde also der presbyopische Emmetrope seinen Ciliarmuskel zum Nahesehen zwar mehr anstrengen, als der jugendliche, aber nicht um so viel mehr, dass er davon asthenopische Beschwerden bekommt. Nun finden wir aber nicht selten schon bei Hypermetropie von 1—2 Dioptrien ausgesprochene Asthenopie; und somit wäre wieder zu erwarten, dass die stärkere Inanspruchnahme des Ciliarmuskels beim Lesen u. s. w. im Alter im allgemeinen noch nicht einem Werte von ca. 1—2 Dioptrien entspräche. Diese Widersprüche in der bisherigen Auffassung erledigen sich im wesentlichen dadurch, dass (s. u.) thatsächlich die zur Einstellung auf Leseentfernung nötige Ciliarmuskelkontraktion im Alter im allgemeinen nicht merklich größer sein dürfte, als in der Jugend.

In einer Reihe von Fällen wiederum findet man bei Übersichtigkeit von 1—2 Dioptrien keine asthenopische Beschwerden; solche Hypermetropische suchen etwa zwischen dem 35. und 40. Jahre den Arzt auf, weil sie nicht mehr gut in der Nähe sehen können; ich habe seit längerer Zeit mein Augenmerk auf etwaige asthenopische Beschwerden gerichtet, wie sie nach den herrschenden Anschauungen bei solchen Patienten zu erwarten wären; aber ich fand im allgemeinen lediglich die Unfähigkeit, deutlich zu sehen, nicht aber das typische Bild der Asthenopie: wenn ich nicht irre, wird hier die Bezeichnung Asthenopie missbräuchlich angewendet, wie man ja auch noch vielfach die Unfähigkeit älterer emmetropischer Leute, in der Nähe zu sehen, mit dem hier ganz unzutreffenden Namen Asthenopie belegt. Der Laie, der eine Schrift nicht scharf sieht, sagt häufig »es mache ihm Mühe«, sie zu lesen. Es muss scharf unterschieden werden zwischen der vorwiegend psychischen Arbeit des Erkennens einer verwaschen und infolge des großen Abstandes, in dem das Buch gehalten wird, sehr klein gesehenen Schrift und der wesentlich physischen Arbeit der zum scharfen Sehen notwendigen Ciliarmuskelleistung.

In manchen Fällen könnte eine gesteigerte Ciliarmuskelkontraktion, obwohl sie auf die Linsenwölbung ganz ohne Einfluss ist, für das Sehen dadurch von Vorteil sein, dass die Pupille etwas kleiner und so das Netzhautbild schärfer wird; es scheint, dass hierdurch gelegentlich asthenopische Beschwerden bedingt werden können (s. Abschnitt XI).

Asthenopie tritt somit im allgemeinen auf, wenn an den Ciliarmuskel verhältnismäßig zu hohe Anforderungen gestellt werden. Beim Hypermetropischen werden absolut große Leistungen von einem meist angenähert

normalen Muskel gefordert; ähnliche Störungen können aber auch auftreten, wenn absolut kleinere Leistungen von einem schwach entwickelten, wenig geübten oder von einem vorübergehend geschwächten Muskel gefordert werden. So sehen wir bei verminderter Leistungsfähigkeit, z. B. nach erschöpfenden Krankheiten, vorübergehend Störungen auftreten, die mit asthenopischen Ähnlichkeit haben und mit wiederkehrender Körperkraft mehr oder weniger vollständig verschwinden. Auch nach diphtheritischen Akkommodationslähmungen scheinen derartige Anomalien vorzukommen.

Eine weitere Gruppe hierher gehöriger Erscheinungen, die wesentlich auf Störungen des Zusammenhanges zwischen Akkommodation und Konvergenz zu beziehen sind, werden wir später eingehender erörtern. Dieser Zusammenhang liegt bekanntlich der Einteilung der Hypermetropie in fakultative, relative und absolute zu Grunde, welche 3 Gruppen dadurch gekennzeichnet sind, dass deutliches Sehen in großem Abstande entweder binokular oder nur unokular (d. h. mit konvergenten Gesichtslinien) oder überhaupt nicht (d. h. auch nicht bei stärkster Konvergenz) möglich ist (vgl. Abschnitt XII).

Bei hochgradiger Übersichtigkeit jugendlicher Personen beobachtet man häufig, dass diese bei dem Versuche, in der Nähe zu sehen, sich ähnlich wie hochgradig Kurzsichtige verhalten. „Fast alle Fälle von absoluter, sowie die von hochgradiger relativer Hypermetropie bieten vollständig das Bild einer mit Amblyopie komplizierten Myopie dar“ (DONDERS). v. GRAEFE hatte die Erklärung hierfür in der von ihm aufgedeckten Thatsache gesucht, dass bei Einstellung des Auges auf negativen Abstand mit Annäherung des Sehobjektes die Netzhautbilder rascher wachsen, als die Zerstreuungskreise (vgl. § 42). DONDERS suchte diese Erklärung durch die Annahme zu erweitern, dass der Hypermetropische in solchen Fällen so kräftig als möglich akkommodiere. SALZMANN hat mit Recht auf den Widerspruch dieser Auffassung mit der v. GRAEFE'schen hingewiesen: in dem Maße, als der Hypermetropische akkommodiert, geht er jenes Vorteils der negativen Einstellung mehr oder weniger verlustig; bei Akkommodation auf endlichen Abstand wachsen bei Annäherung des Objektes die Zerstreuungskreise wieder rascher als die Netzhautbildgrößen. Wollten solche Hypermetropische aber zum Nahesehen ganz auf ihre Akkommodation verzichten, so würde die beträchtliche absolute Größe der Zerstreuungskreise das Entziffern der Schrift unmöglich machen können. SALZMANN zeigte durch sorgfältige Beobachtungen, dass auch die in Rede stehenden Hypermetropischen thatsächlich beim Nahesehen akkommodieren und dass das Verhältnis zwischen Konvergenz und Akkommodation bei ihnen kein anderes ist, als bei geringerer Hypermetropie.

Die fragliche Erscheinung erklärt er folgendermaßen: „Der Grund, warum starke Hypermetropen sich wie Myopen geberden, liegt darin, dass der Einstellungsfehler in viel geringerem Maße zunimmt, als die Netzhautbildgröße. Allerdings tritt dieser Umstand in jedem dauernd für eine negative Entfernung eingestellten Auge

von vornherein auf. Aber dann haben die Einstellungsfehler auch eine solche absolute Größe, dass eine halbwegs brauchbare Sehschärfe nicht erzielt werden kann. Erst wenn die Akkommodation mit der Annäherung der Druckprobe immer mehr in Thätigkeit gesetzt wird, wird der Einstellungsfehler so weit verringert und wird das Missverhältnis in der Zunahme des Einstellungsfehlers und der der Netzhautbilder so weit gesteigert, dass eine brauchbare Sehschärfe erzielt wird. . . . Jeder Fall hat sein Minimum der Entfernung, unter das er nicht mehr gehen kann; die Konvergenz, die diesem Minimum entspricht, ist es eben, die das Maximum der Akkommodation ermöglicht; hält er die Probe noch näher, so steigt der Einstellungsfehler wieder rascher an und die Sehschärfe wird schlechter. Es ist dabei ganz gleichgiltig, ob die Hypermetropie absolut ist oder nicht, es müssen nur die ganze relative Akkommodationsbreite und der relative Nahepunkt negativ sein.«

Wenn derartige Übersichtige auf den ersten Blick hochgradig kurzsichtigen Amblyopischen sich ähnlich verhalten, so unterscheiden sie sich doch von solchen durch ihre verhältnismäßig gute Sehschärfe für die Ferne wie auch dadurch, dass sie mit Konvexgläsern feinere Schrift in größerem Abstande lesen können, als ohne Glas etwas größere Schrift. Ohne Glas ist ihre Sehfähigkeit in der Nähe durch die Zerstreuungskreise unter allen Umständen beeinträchtigt; sie bedienen sich infolgedessen gern der bekannten Hilfsmittel zur Verkleinerung derselben, wie Zusammenkneifen der Lider, möglichst grelle Beleuchtung u. s. w.

Mauthner u. a. erklärten das oft anscheinend unverhältnismäßig gute Sehen solcher Übersichtiger durch die Annahme einer besonderen Fähigkeit, die störenden Zerstreuungskreise zu »unterdrücken«. Nach Donders aber sind die Thatsachen auch ohne eine solche Annahme genügend zu erklären, und Salzmann's Messungen zeigen gleichfalls, dass sie zum Verständnisse der Thatsachen nicht notwendig ist.

§ 154. Für die Korrektion der Hypermetropie könnte es zunächst als das natürlichste erscheinen, dass man, ebenso wie bei Kurzsichtigkeit, das die totale Hypermetropie korrigierende Glas verordnete. Die Anforderungen an den Ciliarmuskel wie die Beziehungen zwischen Convergenz und Akkommodation würden dadurch jenen im emmetropischen Auge ähnlich gemacht, für die Ferne wäre deutliches Sehen ohne Akkommodation möglich. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass eine derartige volle Korrektion der Hypermetropie im allgemeinen den praktischen Bedürfnissen nicht entspricht.

Der Hypermetropische sieht, wie schon erwähnt, mit stärkeren als den seiner manifesten Hypermetropie entsprechenden Gläsern, wenigstens bei erstmaligem Vorsetzen derselben, in der Ferne weniger gut, als mit etwas schwächeren. Freilich ändert sich dies bei fortgesetztem Tragen der Brille, und bei einiger Übung kann ziemlich bald mit den der totalen Hypermetropie entsprechenden Gläsern in der Ferne gut und in der Nähe ohne Mühe gesehen

werden. Insoweit wäre also nichts gegen die volle Korrektion einzuwenden. Wenn sich aber der Übersichtige an diese Gläser gewöhnt hat und dann gelegentlich aus irgend welchen Gründen einmal genötigt ist, sich ohne Brille zu behelfen, so fällt ihm jetzt die starke und ungewohnte Inanspruchnahme seiner Akkommodation viel schwerer, als wenn er durch Tragen der nicht voll korrigierenden Gläser seinen Muskel dauernd an eine etwas größere Leistung gewöhnt hat. Daher wählt man zweckmäßig die Konvexgläser derart, dass dem Ciliarmuskel nur eben genügend Arbeit abgenommen wird, um deutliches Sehen in Ferne und Nähe ohne asthenopische Beschwerden zu ermöglichen.

Im allgemeinen pflegt diese Bedingung erfüllt zu sein, wenn man etwa bis zur Mitte der dreißiger Jahre das der manifesten Hypermetropie entsprechende oder ein nur wenig stärkeres Glas verordnet. Selbstverständlich ist auch hier wieder auf Berufsart, Körperkonstitution u. s. w. entsprechend Rücksicht zu nehmen: schwächlichen, leicht ermüdbaren Hypermetropischen wird man unter sonst gleichen Verhältnissen etwas stärkere Gläser verordnen, als kräftigen und ausdauernden. Jenseits des 35. Jahres wird es fast immer möglich und zweckmäßig sein, das der totalen Hypermetropie entsprechende Konvexglas zu verschreiben. Vom 45. Jahre an sind wieder verschiedene Gläser für Ferne und Nähe nötig, deren Stärke nach den bekannten für die Presbyopie geltenden Regeln zu bestimmen ist.

Von der Vorschrift, nur die manifeste Hypermetropie zu korrigieren, muss in einer Reihe von Fällen abgegangen werden: Bei ausgesprochener Neigung zu Konvergenz bezw. periodischem konvergierendem Schielen ist unter Umständen die volle Korrektion der Hypermetropie angezeigt, da es hierdurch gelingen kann, die pathologische Konvergenz zu beseitigen und binokulares Sehen zu erzielen. Ferner ist ein stärkeres als das der manifesten Hypermetropie entsprechende Glas für viele Fälle höchstgradiger Übersichtigkeit bei jugendlichen Personen nötig, (zum Teil wohl deshalb, weil hier die dauernden Anforderungen an den Ciliarmuskel nach Korrektion der manifesten Hypermetropie allein noch verhältnismäßig hohe, leicht zu Ermüdung führende sind).

Wir haben hier nur die Brillenverordnung als therapeutisches Hilfsmittel gegen Hypermetropie besprochen. Es sei erwähnt, dass Darier (1899) durch Massage Hypermetropie von 5 Dioptrien auf 1,5 gebracht und bei jugendlichen Kranken eine solche von 2—3 Dioptrien völlig beseitigt zu haben angiebt.

§ 155. Vielfach ist, insbesondere in den letzten Jahren, der höhergradigen Hypermetropie bezw. der damit verknüpften Akkommodationsanstrengung) eine besondere Bedeutung für die Entstehung zum Teil ernsterer Erkrankungen der verschiedensten Art zugeschrieben worden. So berichtet Hern über mehrere epileptische Kranke, bei welchen nach Korrektion der

Hypermetropie die Anfälle fast vollständig geschwunden sein sollen, nach Weglassen der Brille aber wiederkehrten; auch Work Dodd sah bei Epileptikern häufig Hypermetropie, vielfach zusammen mit Astigmatismus, und fand einen günstigen Einfluss der Gläserkorrektion auf die Epilepsie. Dagegen wurden Martin's Fälle von Epilepsie durch das die Hypermetropie (mit Astigmatismus) korrigierende Glas nicht beeinflusst.

Schön sieht in gesteigerter Akkommodationsanstrengung ein wichtiges ursächliches Moment für die Entstehung insbesondere des grauen Stars und des Glaukoms. Demgegenüber möge auf den Ausspruch von Donders hingewiesen werden, es habe den Anschein, als wenn Hypermetropie in der That eine gewisse Immunität gegen manche Krankheiten genösse, welche das Sehvermögen bedrohen, und es sei »gewiss, dass selbst bei excessiver Akkommodationsanstrengung die Netzhaut nicht in Gefahr gebracht wird«. Auf Grund der bekannten Thatsache, dass sehr selten stärkere Gläser als $^{1}/_{3}$ (= ca. 13 Dioptrien) gebraucht werden, um aphakische Augen für die Ferne zu korrigieren, hat Mauthner betont, »dass hochgradig hypermetropische Augen als diejenigen zu betrachten sind, welchen ein hoher Grad von Immunität gegen Cataracta zukommt.«

Ich habe im Hinblicke auf diese einander widersprechenden Angaben lange Zeit hindurch Augen jeder Refraktion bei stark erweiterter Pupille auf beginnende Linsentrübungen untersucht und mich überzeugt, dass Katarakt in hypermetropischen Augen gewiss nicht häufiger und nicht früher auftritt, als in emmetropischen.

Was das primäre Glaukom angeht, so ist ja zweifellos, dass es bei Übersichtigkeit viel häufiger vorkommt, als bei den anderen Refraktionszuständen; aber es ist nicht angängig, dies auf den schädlichen Einfluss starker Akkommodationsanstrengung zu beziehen, wie vielfach geschehen ist. Ich habe früher auf den Widerspruch hingewiesen, der darin liegt, dass man einerseits jede Akkommodation bei drohendem Glaukom verbietet, andererseits die Erzeugung eines hochgradigen, langdauernden Akkommodationskrampfes durch Eserin als eines der besten Mittel gegen Glaukom preist. Da diese Wirkung des Eserin über allen Zweifel sicher steht, so war zu vermuten, dass die Akkommodation bei den fraglichen Glaukomformen eher günstig als ungünstig wirke. Ich konnte damals auch schon eine Beobachtung von Cohn anführen, wo Glaukomanfälle durch angestrengtes Nahesehen beseitigt wurden. Ähnliche Fälle haben auf meine Mitteilung hin Sattler und O. Lange beschrieben.

In den letzten Jahren ist die Aufmerksamkeit von neuem auf das wohl schon lange bekannte u. a. von Schön 1893 erwähnte, verhältnismäßig häufige Vorkommen von Blepharitis in hypermetropischen Augen gelenkt worden. Eine befriedigende Erklärung dieses Zusammenhanges, den gewiss viele Kollegen aus eigener Erfahrung werden bestätigen können, fehlt zur Zeit

noch. WINSELMANN suchte (1898) die Ursache in dem häufigen Reiben der Lider mit den Fingern, WARSCHAWSKI darin, dass der Blutzufluss zu Bindehaut und Lidern beim Hypermetropischen beständig vermehrt sei.

§ 156. Hinsichtlich der nicht durch angeborene Kürze der Bulbusachse bedingten Hypermetropieformen können wir uns kurz fassen. Das Verhalten des Hornhautradius bei den verschiedenen Refraktionsanomalien wurde schon früher (§ 143) erörtert; es zeigte sich, dass allgemeine Beziehungen zwischen der Größe dieses Radius und dem Refraktionszustande nicht bestehen. Eine erworbene Hypermetropie durch Abflachung der Hornhaut kann infolge von Narben nach Verletzungen oder Geschwüren sich entwickeln, unter Umständen mit normaler oder wenig herabgesetzter Sehschärfe, wenn die Narben nicht im Pupillargebiete liegen. In der Regel wird aber die Wölbung der Hornhaut aus naheliegenden Gründen nicht sehr regelmäßig sein, wesentliche Besserung des Sehens durch Gläser also verhältnismäßig selten in Betracht kommen.

MAUTHNER, AXENFELD, WEISS u. a. berichten über Fälle, wo nach centralen Geschwüren eine so flache und durchsichtige Hornhautfacette auftrat, dass zum Teil erst mit + 12 Dioptrien die beste Sehschärfe ($^1/_4$ in einem, $^{20}/_{70}$ in einem anderen Falle) erzielt wurde. In dem einen Falle AXENFELD's bestand neben der centralen Hypermetropie von 3 Dioptrien peripher Myopie von 7 Dioptrien, der Kranke konnte nach Belieben die übersichtige oder die kurzsichtige Zone zum Sehen benutzen, da beide durch Gläser eine Sehschärfe von $^6/_{18}$ bezw. $^6/_{12}$ ermöglichten. Auch HIRSCHBERG hat hierhergehörige Fälle mitgeteilt. Er fand ferner ophthalmometrisch, dass auch nach der diffusen Hornhautentzündung ohne Geschwürsbildung nicht selten eine Abflachung des Mittelfeldes der Hornhaut zurückbleibt; in einem solchen Falle wurde durch + 14,0 Dioptrien das Sehen von $^5/_{200}$ auf $^5/_{15}$ gehoben.

Unter den Veränderungen in der Linse, die zu hypermetropischer Refraktion führen, haben wir bei Besprechung der Presbyopie die sogenannte Altershypermetropie als physiologischen Zustand kennen gelernt. Ihre Ursache wird zumeist in einer Abnahme der Brechkraft der Linse gesucht, die Folge des erhöhten Brechungsindex der Rinde ist. In welchem Umfange etwa auch Vergrößerung der Linsenradien bei dieser Form der Übersichtigkeit in Betracht kommt, wäre erst durch genauere Messungen zu entscheiden.

Im Gegensatze zu der verbreiteten DONDERS'schen Anschauung fassen STRAUB und FALKENBURG die fragliche Altershypermetropie im wesentlichen als eine »dynamische« auf, die durch Nachlassen des Tonus des Akkommodationsmuskels bedingt sei. Sie bezeichnen die senile Abflachung der Linse als »eine Erscheinung des Ciliarmuskels«, (erst jenseits des 60. Jahres sei diese Änderung eine wirkliche).

Die genannten Forscher sehen eine Stutze ihrer Ansicht in der Beobachtung, dass zahlreiche Amblyopische eine schwache, in ihrer Totalität manifeste Hypermetropie zeigen, die »nichts anderes als die einigermaßen übertriebene, normale Hypermetropie« sei; die normale Refraktion des seiner Akkommodation vollkommen beraubten Auges sei eine Übersichtigkeit von 1—1,5 Dioptrien. Diese Überlegung betreffs der manifesten Hypermetropie Amblyopischer setzt das Vorhandensein einer ungleichen Kontraktion beider Ciliarmuskeln in beträchtlichem Umfange voraus; nur so lassen sich die Angaben in den von den Verfassern mitgeteilten Tabellen verstehen, wonach bei einseitiger Amblyopie eine manifeste, nach Atropinisierung nicht zunehmende Hypermetropie von 1—1,5 Dioptrien an dem betreffenden Auge gefunden wurde, dagegen am anderen Emmetropie, die nach jener Auffassung Folge des Ciliarmuskeltonus an diesem Auge ist. Eine ungleiche Kontraktion beider Ciliarmuskeln ist aber (bei normalem Oculomotorius) bisher noch niemals beobachtet worden; selbst bei einseitiger Erblindung ist die Ciliarmuskelkontraktion des blinden Auges keine andere als die des sehenden.

Litteratur.

1755. Kästner, Vollständiger Lehrbegriff der Optik nach Herrn Robert Smith's Englischem mit Änderungen und Zusätzen. Altenburg.

1772. Janin, Mémoires et observations sur l'oeil. Lyon. Deutsch 1776. Berlin

1780. Olbers, De oculi mutationibus internis. Göttingen.

1811. Wells, Philosophical Transact. Vol. CI. S. 380.

1812. Sachs, Historia naturalis duorum Leucaethiopum auctoris ipsius et sororis ejus. Solisbaci.

1813. Ware, Observations relative to the near and distant sight of different persons. Philos. Transact. S. 43.

1821. Weller, Diätetik für gesunde und kranke Augen.

1825. Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. II. Berlin.

1830. Mackenzie, A practical treatise on the diseases of the eye. London.

1842. Hess, J. A., Theoretisch en practisch handboek der mechanische oogheelkunde. Zierik Zee.

1843. Ritterich, Das Schielen und seine Heilung. Leipzig.

1845. Sichel, Des lunettes et des états pathologiques consécutifs à leur usage irrationel. Ann. d'Ocul. XIII u. XIV.

Listing, Beitrag zur physiologischen Optik.

Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie für Ärzte und Studierende. Göttingen. S. 8. 1. Aufl. S. 116.

1850. Fronmüller, Beobachtungen auf dem Gebiete der Augenheilkunde. Fürth.

1853. Cooper, On near sight, aged sight and impaired vision.

1855. Stellwag v. Carion, Die Akkommodationsfehler des Auges. Sitzungsber. d. math.-naturw. Klasse d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. XVI.

1856. v. Graefe, Über Myopia in distans nebst Betrachtungen über das Sehen jenseits der Grenzen unserer Akkommodation. Arch. f. Ophth. II, 1. S. 158.

1858. Donders, Winke, betr. den Gebrauch und die Wahl der Brillen. Arch. f. Ophth. IV, 1. S. 301. (Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. S. 456.

MacGillavry, Onderzoekingen over de hoegrootheit der accommodatie. Utrecht.

1860. Donders, Ametropie en hare gevolgen. Utrecht u. Arch. f. Ophth. VI, 1. S. 62 u. VI, 2. S. 210.

1862. de Haas, Geschiedkundig onderzoek omtrent de Hypermetropie en hare gevolgen. Proefschrift. Rotterdam.

1863. Donders, Zur Pathogenie des Schielens. Arch. f. Ophth. IX, 1. S. 99.

1864. Jacobson, Über eine Refraktionsveränderung des Auges, welche nach Akkommodationslähmung beobachtet wird. Arch. f. Ophth. X, 2. S. 47.

1866. Nagel, Historische Notiz über Hypermetropie und Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XII, 1. S. 25.

1869. Iwanoff, Beiträge zur Anatomie des Ciliarmuskels. Arch. f. Ophth. XV, 3. S. 289.

Laqueur, Sur quelques formes irrégulières du strabisme. Ann. d'Ocul. LXI. S. 214.

1872. Mauthner, Drei Fälle von erworbener Hypermetropie. Bericht d. naturw.-med. Vereins. Innsbruck. II. S. 184.

Coccius, Ophthalmometrie und Spannungsmessung. Leipzig. S. 44.

1873. Horner, Über Refraktionsänderung. Heidelberger Sitzungsberichte. S. 188.

1877. Ely, E. J., A contribution to the history of hypermetropia. Med. Rec. S. 149.

1878. Carreras y Arago, Hipermetropia. Rev. de med. y cirurg. pract. Madrid. III. S. 145.

Hasner v. Artha, Über Aphakie. Prager med. Wochenschr.

1880. van Lindsley, S., Hypermetropia. Transact. M. Soc. Tennessee. Nashville. XLVII. S. 86.

Weise, Über das Verhältnis des Grades der Hypermetropie zur Sehschärfe. Inaug.-Diss. Berlin.

Desjardins, Vorkommen von Hypermetropie bei Taubstummen. Ann. d'Ocul. LXXXIV. S. 103.

Higgens, Extreme spasm of accommodation in a case of high degree of hypermetropia. Brit. med. Journ. I. S. 623.

1881. Armaignac, L'asthénopie hypermétropique et le strabisme convergent; de la guérison du strabisme hypermétropique sans opération, par l'emploi de l'atropine et des verres convexes, observations. Rev. Clin. d'Ocul. de Bordeaux. II.

Dobrowolsky, W., Diffuse Netzhautentzündung bei hochgradiger Hypermetropie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 156.

1882. Randall, B. A., Hypermetropia in the public-school children. Med. News. Philadelphia. XL. S. 141.

Loring, Hypermetropia in the public-school children. Med. News. Philadelphia. XL. S. 113.

de Schröder, De l'essence de l'hypermétropie manifeste et de l'hypermétropie latente. Arch. d'Opht. II. S. 289.

Velardi, E., Dell' astenopia accommodativa. Boll. d'Ocul. Firenze. IV. S. 117.

Rampoldi, Sulle cause meno frequenti dell' astenopia d'accommodazione. Ann. d'Ottalm. XI, 4. S. 318.

Schneller, Abnahme der Hypermetropie im jugendlichen aphakischen Auge bei Insufficienz der Interni. Tagebl. d. Vers. deutscher Naturf. u. Ärzte zu Danzig.

1883. Daniel, L., Über den Einfluss des Lebensalters auf das Verhältnis der manifesten zur totalen Hypermetropie. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juli-Aug.

1884. Culbertson, A comparison of total and manifest hypermetropia, as determined by the prosoptometer with and without the use of mydriatic. New York med. Journ. XXXIX. S. 319.

Schirmer, R., Bemerkungen zur Geschichte der Hypermetropie. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX, 2. S. 185.

Mackenzie, St., Tortuosity of the retinal veins associated with hypermetropia. Ophth. Soc. of the Great Britain and Ireland. 8. Mai.

1885. Risley, A case of hypermetropic refraction passing while under observation into myopia, symptoms simulating general nervous disease. Med. Herald. Louisville. VII. S. 1.
Giraud-Teulon, Recherches cliniques sur l'hypermétropie. Acad. de Méd. de Paris. Séance du 6. Oct. XIV. S. 1336.
Hansell, H. F., Symptoms of latent hypermetropia. Policl. III. S. 65.
1887. Collica-Accordino, V., Due casi di astenopia accommodativa, non dipendente da ipermetropia, e qualche cenno sulla prescrizione degli occhiali. Boll. d'Ocul. IX.
Frothingham, G. E., Epilepsy apparently cured by correcting hyperopia.
1888. Castaldi, R., Considerazioni cliniche su certi sintomi dell' ipermetropia. Napoli.
Colemann, W. F., The determination and treatment of hyperopia. West. med. Rep. Chicago. X. S. 106.
Culbertson, On the influence of the removal of the punctum proximum and greater correction with convex glasses in hyperopia. Amer. Journ. of Ophth. S. 75.
1889. Chauvel, J., Hypermétropie. Dict. Encycl. des Sc. méd. Paris.
Seabrock, H. H., The correction of congenital hypermetropia. New York med. Journ. S. 599.
1890. Fano, Un cas d'hypermétropie et de strabisme spasmodique, survenu à la suite d'un délire vésanique. S. 131. Journ. d'Ocul. et de Chir. No. 205.
Fano, Pourquoi certains hypermétropes éloignent-ils leur pince-nez des yeux, pour voir de près, en plaçant ce pince-nez à l'extrémité du nez, au lieu de le mettre à la racine de l'organe. Courrier Méd. Paris. XI. S. 3.
Jackson, Increase of hyperopic astigmatism. Med. News. S. 390.
Jackson, Progressive hyperopic astigmatism. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-sixth Meet. S. 676.
Norton, Can headache and asthenopia resulting from hyperopia be relieved without glasses? Journ. of Ophth., Otol. and Laryng. I u. II. S. 292.
Randall, B. A., Can hypermetropia be healthfully outgrown? Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-sixth Meet. S. 657.
1891. Bristowe, H. C., The ophthalmoscopic appearances in hypermetropia and their significance. Ophth. Rev. S. 321.
Keyser, Hypermetropia, progressive myopia. Times and Reg. XII. 6. S. 133.
Randall, B. Alex., Nimmt Hypermetropie durch normales Wachstum ab? Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 57.
Schanz, F., Über den Einfluss der Pupillaröffnung auf das Sehen Aphakischer. Verh. d. Ges. deutscher Naturf. u. Ärzte. Halle.
1892. Jackson, Manifest and latent hyperopia. Journ. Amer. Med. Assoc. Chicago. XIX. S. 2?1.
1893. Roosa, St., Astigmatism, its relative importance in asthenopia due to errors of refraction. Ann. of Ophth. and Otol. IV u. Med. Rec. March.
Axenfeld, Th., Über eine eigentümliche Form von unregelmäßigem Hornhautastigmatismus korrigierbare partielle Hyperopie kompliziert mit hochgradiger Störung der relativen Akkommodation auf dem befallenen Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 33.
Caleb, C. C., Hyperopia. Indian med. Rec. Calcutta. V. S. 144.
Work Dodd, Hundred consecutive cases of epilepsy, their refraction and treatment by glasses. Ophth. Rev. S. 343.
Falkenburg, J., und M. Straub, Über die normale Refraktion des Auges und die Hypermetropie bei angeborener Amblyopie. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 336.
Herron, Report of a case of sneezing due to an uncorrected error of refraction. Ophth. Rec. Nashville. S. 296.

1893. Gellzuhn, E., Über einen Fall von höchstgradiger Übersichtigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Diagnostik. Inaug.-Diss. Berlin.
Stern, The effect of correcting errors of refraction in epilepsies. Brit. med. Journ. S. 732.
Martin, Des rapports de l'oeil avec l'épilepsie. Journ. de Méd. de Bordeaux. 25. März.
1894. Bettmann, Boerne, The spectacle treatment of hypermetropia. North Amer. Practitioner.
Bowles, Change from myopic astigmatism to hypermetropia. Med. Rec. New York. XIX, 5.
Hennessy, Mary E., Varieties of symptoms in hypermetropia, with and without astigmatism; examination under mydriasis. New York med. Journ. S. 207.
du Bois-Reymond, C., Über die latente Hypermetropie. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Hamburg u. Leipzig. VIII. S. 34.
1895. Arnfeld, Über die Neuritis hypermetropum. Inaug.-Diss. Würzburg.
Beaumont, The question of latent hypermetropia in the visual examination for the public services. Lancet. Oct.
Fick, E. A., Einiges über Akkommodation. Arch. f. Augenheilk. XXXI, Ergänzungsheft. S. 105.
Marple, A high degree of hypermetropia. Amer. Journ. of Ophth. S. 208.
Gunn, M., Langdauernde hyperopische Kongestion der Papillen, eine Papillitis vortäuschend. (Demonstration in der Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. XXXI, 1.)
1896. de Haas, Einfluss der Hypermetropie auf die Sprache. Niederl. Ges. f. Ophth. Sitzung v. 13. Dez. Ref. Ann. d'Ocul. CXVII. S. 56.
Spicer, Holmes, Spurious optic Neuritis. Brit. med. Journ. 1846.
1897. Gould, Law of refraction-change following increase or decrease of body-weight. Transact. Amer. Ophth. Soc. 33th Ann. Meet. S. 115.
Walter, On the primary causation of asthenopia; influence of fatigue. Amer. Journ. of Ophth. S. 321.
Nottbeck, Ein Beitrag zur Kenntnis der kongen. Pseudoneuritis optica. Arch. f. Ophth. XLIV, 1. S. 31.
1899. Warschawski, Zur Frage über die Beziehung zwischen Hypermetropie und Blepharitis. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 476.
Winselmann, Über Hypermetropie als Ursache von Blepharitis. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 240.
Straub, Senile Hypermetropie. Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. I. S. 570.
Randall, Is there a hypermetropia acquisita? Transact. Amer. Ophth. Soc. 31. Meet. S. 583.
Domec et Darier, Le massage oculaire dans l'hypermétropie. Ann. d'Ocul. LXXI. S. 458.
1900. Sourdille, Des changements brusques de la réfraction oculaire dans le diabète sucré. Clin. Opht. No. 10.
Panau, La réfraction et le fond de l'oeil de l'enfant nouveau-né. Thèse de Nancy.
Trousseau, L'insomnie dûe aux troubles de réfraction. Arch. d'Opht. XX. S. 312.
Roosa, Prioritätsreklamation betr. Blepharitis bei Refraktionsanomalien etc. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 43.
1902. Helmbrecht, G., Klinisch-statistischer Beitrag zur Lehre von der Hyperopie. Inaug.-Diss. Tübingen.
Ehmann, J., Ein Beitrag zur Lehre von der Refraktion des aphakischen, staroperierten Auges. Inaug.-Diss. Tübingen.

Abschnitt X.

Aphakie.

§ 157. Unter der Bezeichnung Aphakie können wir hier alle Zustände zusammenfassen, die durch Fehlen der Linse im Pupillargebiete charakterisiert sind; wir zählen also auch z. B. solche Fälle von Luxation der Linse hierher, wo die letztere auf den Gang der für das Sehen in Betracht kommenden Lichtstrahlen ohne Einfluss ist.

Die wesentlichsten objektiven, klinischen Merkmale des aphakischen Auges sind: 1. Fehlen der Purkinje-Sanson'schen Linsenbildchen, 2. tiefe Schwärze des Pupillargebietes bei seitlicher Beleuchtung (infolge Fehlens des physiologischen Linsenreflexes), 3. abnorm tiefe Kammer, 4. Irisschlottern (letzteres wird häufig, doch keineswegs regelmäßig beobachtet).

Das aphakische Auge ist ein sehr einfaches optisches System; denn da wir für die meisten hier in Betracht kommenden Fälle die Brechung an der hinteren Hornhautfläche vernachlässigen dürfen und da die Indices des Kammerwassers und des Glaskörpers nicht nennenswert voneinander verschieden sind, so haben wir optisch nur eine einzige brechende Fläche, die vordere Hornhautfläche: nach vorn von ihr befindet sich Luft mit dem Brechungsindex = 1, nach hinten ein als homogen anzusehendes Medium mit dem Brechungsindex = 1,3365.

Wiederum betrachten wir die Hornhaut zunächst als sphärisch und behalten die Erörterung der Verhältnisse bei angeborenen oder erworbenen Wölbungsanomalien derselben dem nächsten Abschnitte vor.

Die Kardinalpunkte dieses einfachsten optischen Systems ergeben sich aus den in der Dioptrik mitgeteilten Werten. Diese sind im großen und ganzen genauer, als die für das linsenhaltige Auge, da die beiden einzigen zur Berechnung nötigen Elemente, Krümmungsradius der Hornhaut und Brechungsindex des zweiten Mediums, verhältnismäßig leicht einer direkten, genauen Bestimmung zugänglich sind, und man nicht, wie für den Index der Linse, auf die Einführung schematischer Durchschnittswerte angewiesen ist.

Für das schematische aphakische Auge sind unter Benutzung der v. Helmholtz'schen Zahlen die beiden Brennweiten $F_{,} = 23{,}266$, $F_{,,} = 31{,}095$, $n = 1{,}3365$, daher die Brechkraft des aphakischen Systems $D = 43$ Dioptrien. Die beiden Hauptpunkte fallen im Scheitel, die beiden Knotenpunkte im Krümmungsmittelpunkte der Hornhaut zusammen. Nach der Formel $B = A + D$ berechnet sich für $D = 43$, wenn die Achsenlänge $b = 22{,}823$ ist, $A = 58{,}57 - 43 = 15{,}57$. Das Auge hätte also eine Hypermetropie von 15,57 Dioptrien, die durch ein Glas von 13,1 Dioptrien zu korrigieren wäre, wenn dieses 12 mm vor dem Hornhautscheitel steht. Die Erfahrung

hat aber gezeigt, dass dies nicht richtig ist, vielmehr im allgemeinen Gläser von 10—11 Dioptrien nötig sind, um ein früher emmetropisch gewesenes Auge nach Extraktion der Linse für die Ferne zu korrigieren. (Nach einer Zusammenstellung von Ehmann bedurften unter 1171 staroperierten Augen zur Fernkorrektion je 27 % ein Glas von 10 bezw. von 11 Dioptrien, 25 % ein solches von 12 Dioptrien, 5,9 % ein solches von 13 Dioptrien und 1 % ein Glas von 14 Dioptrien.)

Dieser Widerspruch ist wesentlich darauf zurückzuführen, dass im Helmholtz'schen schematischen Auge der Linsenindex zu hoch und die Achsenlänge zu kurz angenommen ist. Für eine Achsenlänge = 24 mm würde sich eine Hypermetropie von 12,7 Dioptrien ergeben, die durch ein Glas von ca. 11 Dioptrien, (12 mm vor der Hornhaut), korrigiert würde. Becker und Mauthner setzten den Hornhautradius = 7,7 mm, die Achsenlänge = 23,87 mm und erhielten so $A = 12,3$ Dioptrien, was einem Glase von $+ 10,75$ Dioptrien, 12 mm vor der Hornhaut, entspricht. Diese Werte dürften den wirklichen Verhältnissen sehr nahe kommen: man kann ein solches Auge als das emmetropisch-aphakische bezeichnen (Becker).

Im aphakischen Auge liegt der hintere Hauptpunkt im Hornhautscheitel, daher ist hier der Abstand b der Netzhaut vom zweiten Hauptpunkte gleich der Achsenlänge selbst. Im linsenhaltigen Auge ist die Achsenlänge $= b$ + dem Abstande des zweiten Hauptpunktes vom Hornhautscheitel, für das schematische Auge also ungefähr $= b + 2$ mm. Daher kann der Wert für B im aphakischen Auge nicht gleich jenem im linsenhaltigen gesetzt werden. Wir bezeichnen ersteren mit B_a und wollen ihn für das emmetropisch-aphakische Auge durchschnittlich = 55,5 Dioptrien setzen, was eine Hypermetropie von 12,5 Dioptrien ergiebt, also den Becker'schen Werten genügend entspricht.

Für die Berechnung der Konstanten eines mit Brille bewaffneten aphakischen Auges können wir nicht, wie es beim linsenhaltigen in der Regel gestattet ist, das Glas im vorderen Brennpunkte des Auges befindlich annehmen, da dieser hier ja 23,266 mm vor der Hornhaut liegt. Den folgenden Berechnungen ist die Annahme zu Grunde gelegt, dass der zweite Hauptpunkt des Brillenglases sich ca. 12 mm vor dem Hornhautscheitel (also auch vor dem ersten Hauptpunkte des Auges) befinde.

§ 158. Auf dem angedeuteten Wege lässt sich für jeden durch abnorme Achsenlänge bedingten Ametropiegrad des linsenhaltigen Auges die Refraktion des letzteren nach Entfernung der Linse einfach berechnen. Nebenstehende Tabelle giebt eine Übersicht über verschiedene hierher gehörige Werte sowie über die vor und nach Entfernung der Linse nötigen Korrektionsgläser.

	Linsenhaltiges Auge: $D = 62$			Aphakisches Auge: $D = 43$		
Achsenlänge des Auges in mm	B	Hauptpunktsametropie im linsenhaltigen Auge	Korrektionsglas 12 mm vor dem vorderen Hauptpunkte	B_a	Ametropie des aphakischen Auges	Korrektionsglas 12 mm vor dem vorderen Hauptpunkte
19	78,6	+ 16,6 D.	+ 13,8 D.	70,3	$H = 27,3$ D.	+ 20,5 D.
21	70,3	+ 8,3	+ 7.3	63,6	$H = 20,6$	+ 16.5
23	63,6	+ 1	+ 1	58,1	$H = 15,1$	+ 12,6
24	60,7	— 1	— 1	55,7	$H = 12,7$	+ 11
25	58	— 4	— 4,2	53.5	$H = 10,5$	+ 9.3
27	53,5	— 8.5	— 9,5	49.5	$H = 6,5$	+ 6,0
29	49,5	— 12,5	— 14,7	46	$H = 3$	+ 2.9
31	46,1	— 15.9	— 19,8	43	0	0
33	43	— 19	— 24,6	40,5	$M = 3,5$	— 3,65
35	40,5	— 21.5	— 29	38.2	$M = 4,8$	— 5.1

Die Refraktionsänderung eines Auges nach Entfernung der Linse hat in den letzten Jahren ein besonderes Interesse dadurch bekommen, dass die Behandlung der hochgradigen Kurzsichtigkeit durch Entfernung der Linse in größerem Umfange geübt wurde und der dadurch bedingte Verlust an Brechkraft Gegenstand vieler Erörterungen war; daher mögen die einschlägigen Verhältnisse etwas eingehender besprochen werden. Sie sind auch schon um deswillen von Interesse, weil wir durch die operative Beseitigung der klaren Linse zuerst in die Lage versetzt wurden, in größerem Umfange Augen zu untersuchen, bei welchen vor und nach der Extraktion Krümmungsradius und Refraktion genau gemessen wurden, was bei der Staroperation ja nur ausnahmsweise möglich ist.

Die Widersprüche zwischen den unter Benutzung der v. Helmholtz'schen Zahlen berechneten und den thatsächlich gefundenen Werten treten auch hier in auffälliger Weise hervor; ich führe nur einige wichtigere Beispiele an, für die Berechnung diene uns die Brennpunktsformel ($l_l l_{ll} = - F_l F_{ll}$). Ein nach Linsenentfernung emmetropisches Auge von 31,095 mm Länge hat, unter Zugrundelegung des Helmholtz'schen schematischen Auges mit der Achsenlänge 22,823 mm, eine Verlängerung von 8,272 mm; danach ist $l_l = 38,81$ mm. Die dieser Achsenverlängerung entsprechende Myopie müsste also durch ein Glas von 1000 : 38,81, das ist von mehr als 25 Dioptrien korrigiert werden, welches sich im vorderen Brennpunkte des Auges befindet (was einer auf den ersten Hauptpunkt bezogenen Myopie von 18,4 Dioptrien entspräche). Die empirisch ermittelten Werte sind aber viel kleiner: es hat sich gezeigt, dass in der großen Mehrzahl der Fälle solche Augen nach Linsenentfernung emmetropisch werden, die vorher zur Fernkorrektion ein Glas von 18 bis 20 Dioptrien nötig hatten (entsprechend einer Hauptpunktsmyopie von 14—15 Dioptrien). Die Übereinstimmung mit den Thatsachen wird besser, wenn man im schematischen Auge etwas größere

Werte für Achsenlänge und Linsenbrennweite ansetzt, wie dies schon **Becker** u. a. gefordert haben.

Bei den Berechnungen über die Achsenlängen aphakischer, achsenmyopischer Augen kann ein kleiner Fehler dadurch bedingt werden, dass man die Tiefe der vorderen Kammer des linsenhaltigen kurzsichtigen Auges gleich jener des emmetropischen setzt, während sie in der Regel etwas größer ist (s. § 23). Die Differenz zwischen der durchschnittlichen Tiefe der vorderen Kammer im myopischen und im hypermetropischen Auge beträgt nach den bisherigen Messungen nicht mehr als ca. 0,2 bis 0,4 mm; im allgemeinen wird sie kaum mehr als 1 mm betragen; wenn bei neueren Rechnungen der Einfluss einer Tiefenzunahme um 3 mm ermittelt wird, so hat dies lediglich theoretisches Interesse. In welchem Sinne eine solche Linsenverschiebung auf die Refraktion wirkt, wurde früher eingehend erörtert.

Da wir uns bis jetzt wenigstens für das linsenhaltige Auge zum Teile noch mit Werten begnügen müssen, die experimentell nicht genügend sicher ermittelt sind, da zudem, wie wir oben sahen, eine bestimmte Refraktion nicht genau an eine bestimmte Achsenlänge des Auges geknüpft ist, so können wir auf die rechnerische Wiedergabe der verschiedenen Myopiewerte für die verschiedenen schematischen Augen im einzelnen verzichten. Dagegen möge eine Tabelle für die Beziehungen zwischen den Korrektionsgläsern des aphakischen Auges und seinen Achsenlängen hier Platz finden (für einen Hornhautradius von 7,829 mm und einen Brechungsindex von 1,3365).

Korrektionsglas für das aphakische Auge, 12 mm vor der Hornhaut	Achsenlänge mm	Korrektionsglas für das aphakische Auge, 12 mm vor der Hornhaut	Achsenlänge mm
+ 16 Dioptr.	21,288	+ 5	27,671
+ 15	21,805	+ 4	28,326
+ 14	22,343	+ 3	28,994
+ 13	22,899	+ 2	29,680
+ 12	23,439	+ 1	30,380
+ 11	24,040	0	31,095
+ 10	24,617	— 1	31,827
+ 9	25,179	— 2	32,576
+ 8	25,787	— 3	33,334
+ 7	26,406	— 4	34,126
+ 6	27,015		

Aus der Tabelle geht hervor, dass einer Refraktionsänderung des aphakischen Auges um 1 Dioptrie eine mittlere Achsenlängenänderung um etwa 0,6 mm entspricht. (Genauer ist sie nach den Achsenlängen etwas verschieden und beträgt 0,35—0,5 mm bei den kleineren, etwa 0,7—0,8 mm

bei den größeren Achsenlängen). Eine Verlängerung des Auges um ca. 6 mm (etwa von 24,04 auf 30,38 mm) bedingt eine Refraktionserhöhung, welcher eine Gläserdifferenz von ca. 10 Dioptrien entspricht. Im linsenhaltigen Auge dagegen entspricht einer Refraktionsänderung um 1 Dioptrie nur eine Achsenlängenänderung um ca. 0,33 mm (0,32 mm für die Brennweiten des Helmholtz'schen schematischen Auges, 0,34 mm für die des Becker'schen Auges). Die gleiche Achsenveränderung hat also im linsenhaltigen Auge im allgemeinen eine etwa 1,8mal größere Refraktionsänderung zur Folge als im aphakischen. Die einer Achsenverlängerung um 6 mm entsprechende Refraktionserhöhung wird durch ein Glas von etwa 18 Dioptrien ausgeglichen, bei einer Achsenlänge des emmetropischen Auges = 24 mm bedarf das 30 mm lange zur Korrektion ca. — 18 Dioptrien. Nach Entfernung der Linse wird das emmetropisch gewesene Auge ca. + 10 Dioptrien zur Fernkorrektion erfordern, das durch — 18 korrigiert gewesene achsenmyopische annähernd emmetropisch sein.

Es mögen noch einige Werte hier Platz finden, die sich aus den Konstanten Treutlers (s. o.) ergeben und mit den Thatsachen gut in Einklang stehen.

Einer Achsenlänge von	entspricht eine Hauptpunktsametropie des linsenhaltigen Auges von	und eine Ametropie des aphakischen Auges von
21,845 mm	+ 6,064 Dioptrien	+ 17,469 Dioptrien.
23,845 »	0	+ 12,384 »
25,845 »	— 5,054 »	+ 8,086 »
27,845 »	— 9,334 »	+ 4,401 »
29,845 »	— 13,001	+ 1,208
30,845 »	— 14,644 »	— 0,233 »
31,845 »	— 16,180	— 1,585

Einer Achsenametropie, korrigiert durch ein im vorderen Brennpunkte des linsenhaltigen Auges befindliches Glas von	entspricht eine Achsenlänge von	und ein Korrektionsglas (ca. 13 mm vor dem Hornhautscheitel) für das aphakische Auge =
+ 10 Dioptrien	20,218 mm	+ 16,78 Dioptrien.
+ 5	22,032 »	+ 13,55
0	23,845 »	+ 10,46 »
— 5 »	25,658 »	+ 7,52
— 10 »	27,472 »	+ 4,70
— 18	30,373	+ 0,43
— 19 »	30,736 »	— 0,08

Da es aus den früher angeführten Gründen im allgemeinen weder möglich, noch auch für die praktischen Bedürfnisse nötig ist, die betreffenden Werte jedesmal mit voller Genauigkeit auszurechnen, eine vereinfachte Berechnung aber praktisch große Vorteile bietet, so sei noch eine von Hirschberg für das reduzierte Auge aufgestellte Tabelle wiedergegeben. Werden $F_{,} = 15$ mm, $F_{,,} = 20$ mm, die Achsenlänge des emmetropischen Auges 24 mm gesetzt, so ergiebt sich:

Sehachsenlänge	Brechzustand der linsenhaltigen Augen	Brechzustand der aphakischen Augen
24	E.	+ 10 Dioptrien.
25	M. = 3 Dioptrien	+ 8,5
26	M. = 6	+ 7
27	M. = 9	+ 5,5
28	M. = 12	+ 4
29	M. = 15	+ 2,5
30	M. = 18	+ 1
31	M. = 21	fast E.
32	M. = 24	1,5
33	M. = 27	3,0
34	M. = 30	— 4,5

Hirschberg nimmt also an, dass die einer Achsenveränderung um 1 mm entsprechende Refraktionsänderung im aphakischen Auge halb so groß sei wie im linsenhaltigen. Unter Benutzung dieser Vereinfachung lässt sich die Refraktion, welche ein achsenmyopisches Auge nach Entfernung der Linse haben wird, angenähert berechnen, »indem man die Dioptrienzahl des Korrektionsglases des kurzsichtigen Auges durch 2 dividiert und den erhaltenen Wert von 11 Dioptrien, d. i. von der Refraktion des aphakisch gemachten Emmetropenauges abzieht (Ostwald). Hirschberg, der die Hypermetropie des aphakischen Emmetropenauges zu 10 Dioptrien annimmt, drückt den angeführten Satz in der Formel aus: $R_{2(x)} = \left(+10 - \frac{M_x}{2}\right)$ Dioptrien. ($R_{2(x)}$ bedeutet die Refraktion des aphakischen Auges, das früher eine Myopie von x Dioptrien besessen hatte.)

Eine etwas weniger einfache, aber gleichfalls, sofern es sich nur um Ermittlung der nach der Extraktion zu erwartenden Refraktion handelt, brauchbare Formel hat Eperon gegeben: $R_2 = \frac{1000}{24 + \frac{R_1}{3}} - 32{,}5$ D.; R_1 ist die Refraktion des myopischen Auges, also $\frac{R_1}{3}$ die Verlängerung der Sehachse, $24 + \frac{R_1}{3}$ die Länge der Sehachse des myopischen Auges, vorausgesetzt dass die Achsenlänge des emmetropischen Auges 24 mm, der Hornhautradius 7,7 mm sei. Einen allgemeinen Ausdruck für die Refraktionsänderung nach Linsenentfernung hat Salzmann gegeben. Bezeichnet Z die Refraktionsverminderung, die durch den Verlust der Linse erzeugt wird, n den Index des Glaskörpers, $F_{\prime\prime}$ bezw. $\Phi_{\prime\prime}$ die hintere Brennweite des linsenhaltigen bezw. aphakischen Auges, δ den Abstand des zweiten Hauptpunktes des linsenhaltigen Auges vom Hornhautscheitel und l die Achsenlänge des Auges, so lautet der allgemeine Ausdruck der Brechungsverminderung für die auf den Hauptpunkt bezogene Ametropie $Z = n\left(\frac{1}{F_{\prime\prime}} - \frac{1}{\Phi_{\prime\prime}} - \frac{\delta}{l(l-\delta)}\right)$. Die Formel ist aus den bekannten Gleichungen leicht abzuleiten.

Die Refraktionsdifferenz zwischen linsenhaltigem und aphakischem Auge wird wesentlich größer erscheinen müssen als in den bisher erörterten Fällen, wenn der Brechwert der Linse abnorm hoch ist, sei es infolge

von Indexerhöhung oder von ungewöhnlich starker Wölbung der Linsenflächen. Ich untersuchte kürzlich einen Knaben, der mit + 10 Dioptrien in die Ferne am besten sah, dagegen ohne Glas mit vorgebeugtem Kopfe in 3—4 cm Entfernung las. Es handelte sich um angeborene Luxation der klaren Linse in den Glaskörper. Zum Lesen brachte der Patient durch Neigen des Kopfes die Linse in das Pupillargebiet. Diese war infolge Fehlens jeder Zonulaspannung maximal gewölbt (vielleicht noch stärker, als der normalen akkommodierten Linse entspricht, da während der ganzen Linsenentwicklung der Zonulazug fehlte). Ähnlich große Differenzen kann man gelegentlich auch bei Subluxation der Linse beobachten, die das Pupillargebiet in eine linsenhaltige und eine aphakische Hälfte teilt.

§ 159. Die Netzhautbildgröße im aphakischen Auge lässt sich z. B. in der folgenden Weise bestimmen.

Durch Entfernung der Linse aus einem Auge mit normal brechendem Apparate wird dessen vordere Brennweite (im Helmholtz'schen schematischen Auge) von ca. 15,5 mm auf ca. 23,2 mm erhöht. Da bei gleichbleibendem Werte für das kleinste Netzhautbild die Sehschärfe der vorderen Brennweite direkt proportional ist (vgl. § 86), so verhält sich die absolute Sehschärfe des linsenhaltigen schematischen Auges zu der des aphakischen schematischen wie 15,5 zu 23,2, das ist angenähert wie 1 zu 1,5; durch Verminderung der absoluten Sehschärfe des aphakischen Auges um $^1/_3$ erhält man also den schematischen Wert für die absolute Sehschärfe, welche das gleiche Auge bei vorhandener Linse haben würde. Haben wir die absolute Sehschärfe für ein emmetropisches oder für ein ametropisches, durch das im vorderen Brennpunkte befindliche Glas voll korrigiertes Auge bestimmt, so erhalten wir in der angegebenen Weise die absolute Sehschärfe des aphakischen Auges. Das Korrektionsglas des aphakischen Auges befindet sich aber nicht in dessen vorderem Brennpunkte, 23,266 mm vor der Hornhaut, sondern ca. 1 cm hinter demselben. Die Größe des Netzhautbildes im letzteren Falle verhält sich zu der im ersteren, wie die vordere Brennweite des aus Auge und Linse zusammengesetzten Systems zu jener des unkorrigierten aphakischen Auges (welche letztere gleich ist der vorderen Brennweite der Kombination Auge + Linse, sofern das Glas sich im vorderen Brennpunkte befindet). Das Verhältnis beider Bildgrößen erhalten wir aus der Formel $Q = \frac{1}{1 + dD}$ (D = Brechkraft des Korrektionsglases in Dioptrien, d = der in Metern ausgedrückte Abstand des Glases vom vorderen Brennpunkte des Auges). d ist im allgemeinen angenähert = 0,01 m. Die Berechnung des Quotienten Q für einige hier in Betracht kommende Werte von D ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

für $D =$	ist $Q =$	für $D =$	ist $Q =$
+ 14 Dioptr.	0,877	+ 2 Dioptr.	0,98
+ 12 »	0,892	+ 1 »	0,99
+ 10 »	0,909	— 1 »	1,01
+ 8 »	0,926	— 2 »	1,02
+ 6 »	0,943	— 4 »	1,04
+ 4 »	0,96	— 10 »	1,11

Die Sehschärfe des aphakischen, durch ein 13 mm vor dem Hornhautscheitel befindliches Glas korrigierten Auges ist also etwas kleiner bezw. größer, als seine absolute Sehschärfe, wenn Konvex- bezw. Konkavgläser nötig sind. Man erhält die erstere durch Multiplikation der absoluten Sehschärfewerte mit den entsprechenden Werten für Q. Es ist z. B. für ein Auge, das nach Entfernung der Linse durch

+ 1 korrigiert wird, die Sehschärfe	= 1,485	der vor Entfernung der Linse mit Korrektionsglas im vorderen Brennpunkte gefundenen.
+ 3 » » »	= 1,455	
+ 5 » » »	= 1,428	
+ 7 » » »	= 1,402	
+ 9 » » »	= 1,375	
+ 11 » » »	= 1,351	

Für ein durch Achsenverlängerung kurzsichtiges Auge, das nach Entfernung der Linse ohne Glas auf unendliche Entfernung eingestellt ist, wird also die bei der üblichen Prüfungsweise gefundene Sehschärfe angenähert 1,5 mal größer sein als die absolute Sehschärfe des Auges vor der Operation. Mit ziemlich großer Annäherung gilt dies auch noch, wenn das Auge nach Entfernung der Linse zum Sehen in die Ferne ein schwaches Konvex- oder Konkavglas nötig hat, das im Abstande von ca. 13 mm vor der Hornhaut sich befindet.

Befinden sich die Korrektionsgläser bei Bestimmung der Sehschärfe vor und nach Entfernung der Linse in anderen Abständen, so kann die Zunahme der Sehschärfe eine etwas andere werden; doch ergiebt die Berechnung für die gewöhnlich in Betracht kommenden Glasabstände höchstens eine Erhöhung derselben auf das Doppelte (s. § 142).

Von anderen Berechnungsweisen zur Ermittlung der Beziehungen zwischen den Bildgrößen des aphakischen und jenen des linsenhaltigen Auges erwähne ich noch eine von Leber gegebene Formel $\beta = -\frac{FF_{\prime}(f+d)}{fF+(f-F_{\prime})(F_{\prime\prime}-d)} tg\,\alpha$, in welcher β die gesuchte Bildgröße, $F_{\prime}$ und $F_{\prime\prime}$ die Brennweiten des Auges, F die Brennweite des benutzten Glases, d dessen Abstand vom Knotenpunkte des Auges, f den Abstand des Objektes vom optischen Centrum des Glases und $tg\,\alpha$ die Tangente des Sehwinkels (= Knotenpunktswinkels) bedeutet. Die Gleichung ist aus den bekannten Formeln für kombinierte optische Systeme leicht abzuleiten, ihre Diskussion führt zu gleichen Ergebnissen wie die oben gefundenen. (In dieser Formel sind die Objekt- bezw. Bildabstände nach links bezw. rechts vom vereinigten Knotenpunkte positiv zu nehmen.

Wenn ein Patient, dessen Kurzsichtigkeit zu 16 Dioptrien bestimmt wurde, in ca. 6 cm Abstand Jäger Nr. 2 eben noch lesen kann, so entspricht dies einer natürlichen Sehschärfe von etwa $^1/_8$ der normalen (denn diese Schrift hat eine durchschnittliche Höhe von circa 0,7 mm, erscheint also in 6 cm Abstand unter einem Winkel von 40 Min.). Die absolute Sehschärfe ist um $16 \cdot 1{,}5\%$ kleiner, also ca. 0,095; somit wird nach Entfernung der Linse ceteris paribus eine absolute Sehschärfe von ca. 0,142 zu erwarten sein ($= 0{,}095 \cdot 1{,}5$).

Hierbei ist eine etwaige Änderung der Pupillenweite nicht berücksichtigt, sondern angenommen, dass sie in allen Fällen die gleiche sei. Dies ist aber nicht ganz richtig. Schanz sieht einen der Gründe für die Zunahme der Sehschärfe operierter Kurzsichtiger darin, dass diese im Gegensatze zu nicht Operierten eine kleine Austritts- und eine große Eintrittspupille haben, wodurch die Lichtstärke der Netzhautbilder vermehrt, die Zerstreuung aber verringert wird. Berechnet man, wie dies Salzmann gethan hat, den Einfluss der Korrektionsgläser auf Größe und Lage der Eintrittspupille, so zeigt sich, dass die Sehleistung (d. i. die Distinktionsfähigkeit von Zerstreuungsbildern, die der Größe der Eintrittspupille und dem Einstellungsfehler umgekehrt proportional ist) durch Konvexgläser verschlechtert, durch Konkavgläser verbessert wird, und zwar um so mehr, je stärker diese sind. Danach ergiebt sich z. B., dass bei zwei aphakischen Augen mit gleichen Pupillen, von welchen das eine mit + 14 Dioptrien, das andere ohne Glas auf einen 25 cm entfernten Punkt eingestellt ist, die Sehleistung des langen Auges zu jener des mit + 14 D. bewaffneten sich verhält wie 5 : 4. In dieser Hinsicht ist also das aphakische Langauge dem aphakischen Auge mit normaler Bulbusachse überlegen.

Aus den früheren Formeln geht hervor, dass Aphakische sich eine sehr beträchtliche Vergrößerung verschaffen können, wenn sie schwache Gläser weit vom Auge entfernt vorhalten. Man hat dann eine Kombination nach Art des Galilei'schen Fernrohres, wobei das hypermetropische Auge die Stelle des Oculars vertritt. Für ein aphakisches Auge mit einer Hypermetropie von ca. 12,5 Dioptrien, das ein Glas von + 2,5 Dioptrien 32 cm weit vor das Auge hält, ist die Vergrößerung etwa 6 mal größer als für ein normales Auge (die Brechkraft dieser Kombination beträgt ca. 11 D., die des emmetropischen, linsenhaltigen Auges = 64 D., also $Q = \frac{64}{11}$ = nahezu 6 [vgl. § 86]).

§ 160. Um die Sehschärfe **krümmungsametropischer** aphakischer, korrigierter Augen zu berechnen, kann man in folgender Weise vorgehen:

Man bestimmt die Brechkraft des fraglichen aphakischen Auges nach der Formel $D_r = D + A$, worin D die Brechkraft des schematischen, aphakischen Auges = 43 Dioptrien ist; A ist der Grad der aphakischen Ametropie in Dioptrien, der z. B. aus dem nötigen Korrektionsglase in bekannter Weise ermittelt wird. Die Brechkraft $D_{,,}$ des kombinierten Systems aphakisches Auge + Korrektionsglas erhalten wir, wenn D_r die Brechkraft des

letzteren und d seinen Abstand vom Hornhautscheitel bedeutet, nach der Formel $D_{,,} = D_{,} + D_c - dD_{,}D_c = D + A + D_c - dD_c(D + A)$.

Es sei D_0 die Brechkraft des schematischen, emmetropischen Normalauges = 64 Dioptrien. Da die Sehschärfen den vorderen Brennweiten direkt, also den Brechkräften umgekehrt proportional sind, so erhalten wir für das Verhältnis der Sehschärfe des korrigierten, krümmungsametropischen, aphakischen Auges zu jener des linsenhaltigen normalen Auges: $Q = \frac{D_0}{D_{,,}} = \frac{64}{43 + A + D_c - 0{,}013\, D_c(43 + A)}$.

Beispiele: Ein aphakisches Auge mit normaler Achsenlange, das ohne Korrektionsglas auf unendliche Entfernung eingestellt ist, hat eine um ca. 14 Dioptrien großere Brechkraft als das schematische emmetropisch-aphakische Auge, daher $A = +14$; $D_c = 0$ also $Q = \frac{64}{57} = 1{,}12$.

Das schematische, aphakische Auge braucht ein Glas von ca. + 11 Dioptrien zur Einstellung auf die Ferne. Hier ist also $A = 0$, $D_c = +11$; ist $d = 0{,}013$, so wird $Q = \frac{64}{43 + 11 - 0{,}013 \cdot 43 \cdot 11} = 1{,}33$, (was wir früher auf anderem Wege gefunden haben.)

Ein aphakisches krümmungsametropisches Auge, für welches $A = -5$ ist, das also für die Ferne durch + 14 korrigiert wird, hat unter sonst gleichen Bedingungen wie früher eine Sehscharfe, die ca. 1,4 mal großer ist, als die des emmetropischen Normalauges.

Vergleicht man endlich die Sehscharfe des aphakischen, krümmungsametropischen Auges mit jener, die das gleiche Auge vor dem Linsenverluste besaß, so zeigt sich, dass die Vergroßerung (fur die hier in Betracht kommenden Ametropiegrade von etwa 0 bis 26 Dioptrien) fast konstant ist; sie betragt, wenn nach Entfernung der Linse kein Korrektionsglas notig ist, 1,329; für ein Glas von 10 bis 12 Dioptrien 1,353, für ein Glas von + 20 Dioptrien = 1,326 (Nagel).

In der Praxis kommen diese Verhaltnisse sehr viel seltener in Betracht, als jene bei Achsenametropie.

§ 161. Die thatsächlich gefundene Sehschärfe des emmetropisch-aphakischen Auges bleibt in einer großen Zahl von Fällen hinter der berechneten zurück. Die Ursachen dafür sind erstens darin zu suchen, dass nach Entfernung der Linse unter Zurücklassen der Kapsel das Pupillargebiet meist nicht ganz frei, sondern zum Teile von Kapselstücken und daran anhaftenden Resten von Linsenfasern und gewucherten Kapselepithelzellen eingenommen ist, die auf den Strahlengang störend einwirken. Ferner hat nach der Starextraktion die Hornhaut in der Regel ihre gleichmäßige Krümmung eingebüßt. Der operative Wundastigmatismus ist begreiflicherweise im allgemeinen nicht so regelmäßig, dass er durch Cylindergläser sich genügend vollständig korrigieren ließe. Für die mit Iridektomie operierten Augen können auch noch die stärkeren Aberrationen und die Asymmetrie bei nicht runder Pupille in Betracht kommen. Alle diese Umstände erklären es, dass man z. B. nach

der Altersstarextraktion nicht allzu häufig $S = 1$ oder > 1 findet; pflegt man doch als vollen Erfolg vielfach auch diejenigen Operationen zu verzeichnen, bei welchen nach der Extraktion $S = 1/_2$ ist.

Bei den obigen Berechnungen war stets vorausgesetzt, dass der Hornhautradius des aphakischen Auges mit jenem des linsenhaltigen übereinstimme. Diese Voraussetzung trifft im allgemeinen nur selten genau zu, z. B. dann, wenn die Entfernung der Linse aus dem Pupillargebiete durch stumpfe Gewalt, durch einfache Discission, oder durch Verletzung der Linse mit einem feinen, die Hornhautkrümmung nicht beeinflussenden Fremdkörper erfolgt war. (In einem solchen Auge konnte Gullstrand durch Ophthalmoskopieren im aufrechten Bilde bei weiter Pupille durch verschiedene Pupillenteile an der Verzerrung der Papillenform erkennen, dass die sphärische Aberration nur nach oben korrigiert, in den anderen Richtungen aber positive sphärische Aberration vorhanden war.

Nach Entfernung der Linse durch ausgedehnte Eröffnung des Augapfels (cornealen oder scleralen Schnitt) wird in der Mehrzahl der Fälle der Hornhautradius, wenn der Schnitt, wie gewöhnlich, nach oben angelegt war, im vertikalen Meridian merklich vergrößert, zugleich aber im horizontalen verkleinert; diese Änderung des Radius ist am beträchtlichsten in den ersten 8—14 Tagen nach der Operation. Die Differenz zwischen beiden Meridianen kann dann Refraktionsunterschieden von mehreren Dioptrien entsprechen; sie wird meist im Laufe der nächsten Wochen nach der Operation kleiner, verliert sich aber in der Regel nicht vollständig. Über eine Reihe solcher Beobachtungen, wie sie früher vereinzelt von Mauthner, v. Reuss, Weiss, später von Dolganoff u. a. in größerem Umfange vorgenommen wurden, hat kürzlich Treutler berichtet. Aus seinen in meiner Klinik vorgenommenen Messungen geht hervor, dass die mittlere Krümmungsvermehrung im horizontalen Meridian (nach Extraktion mit scleralem Schnitte) einer Verkleinerung des Radius um 1,1 mm, die mittlere Krümmungsverminderung im vertikalen Meridian einer Vergrößerung des Radius um 0,7 mm entspricht. Auch nach völlig oder fast völlig beendetem Heilungsprozesse war in den meisten Fällen die horizontale Krümmungszunahme beträchtlicher, als die vertikale Krümmungsabnahme.

Diesen Änderungen ist selbstverständlich Rechnung zu tragen, wenn man aus den Konstanten des aphakischen Auges die Achsenlängen u. s. w. berechnen will. (Weiteres hierüber sowie über die Korrektion dieser erworbenen Krümmungsänderungen der Hornhaut siehe im folgenden Abschnitte.

§ 162. Über die Akkommodation des aphakischen Auges sind seit langer Zeit lebhafte Erörterungen gepflogen worden; selbst in den letzten Jahren begegnen wir wieder mehrfach der Angabe, dass das Auge

auch nach Entfernung der Linse noch einen gewissen Grad von wirklicher Akkommodationsfähigkeit besitze.

Der erste, der die Frage nach der Akkommodation im aphakischen Auge experimentell untersuchte, war Home. Aus dem Umstande, dass ein Staroperierter mit einem und demselben Glase in verschiedenen Entfernungen lesen konnte, schloss er, dass Akkommodation auch ohne Linse möglich sei. Da Home und Ramsden (der die Versuche mit ihm anstellte) hierbei die Hornhaut deutlich nach vorn treten sahen, glaubten sie, die Akkommodation auf vermehrte Hornhautwölbung zurückführen zu dürfen. Diese Angaben widerlegte bekanntlich Thomas Young durch den Nachweis, dass die Hornhaut sich nicht verändert, wenn das Auge für die Nähe eingestellt wird. Auch er untersuchte (in Gemeinschaft mit Ware) Aphakische mittels des Porterfield'schen Optometers und fand keine Spur von Akkommodation.

In der Folge vertraten Henle, Listing und Bonnet die Ansicht, dass durch Druck der äußeren, geraden oder schiefen Augenmuskeln eine Achsenverlängerung des Auges zustande kommen könne. (Bonnet machte sogar zur Heilung der Kurzsichtigkeit schon die Tenotomie des Obliquus inferior.) Auch Arlt war (1856) der Meinung, dass die äußeren Augenmuskeln und der Ciliarmuskel durch Zurückdrängung der hinteren Wand eine Verlängerung des Augapfels hervorzurufen vermöchten. 1874 äußerte er sich noch folgendermaßen: »Wenn aphakische Augen einige Akkommodation besitzen, was vielfach bestritten wurde, so kann dieselbe nur durch Formveränderung des Bulbus erfolgen.« Demgegenüber vertrat Donders die Ansicht, dass bei Aphakie nicht eine Spur von Akkommodation mehr übrig sei, also die äußeren Augenmuskeln durch ihre Kontraktion auf die Gestalt des Auges keinen merklichen Einfluss üben könnten. Förster behauptete wiederum das Vorkommen von Akkommodation im aphakischen Auge bis zu einem Betrage von 4,5—5,5 Dioptrien; er warf die Frage auf, ob der Ciliarmuskel etwa eine Verstärkung der Hornhautkrümmung hervorzubringen lerne. Den Förster'schen Angaben, die auch durch Untersuchungen von Woinow gestützt schienen, traten Donders und Coert, Abadie und Nagel, später Schöler, Mannhardt u. a. entgegen. 1886 stellte Schneller nochmals die Behauptung auf, dass bei Convergenz und Abwärtswenden der Augen ein Zuwachs zur Akkommodationsbreite zustande komme, der allein oder fast ganz allein auf Verlängerung der Augenachse durch Muskeldruck zurückzuführen sei und dass dementsprechend auch Aphakische akkommodieren könnten. Später schränkte er seine Annahme dahin ein, dass bei jungen Leuten und Kurzsichtigen nicht selten eine Refraktionszunahme eintrete, wenn sie in die Nähe und abwärts sehen. Diese Angaben wurden von Sattler durch sehr sorgfältige und eingehende Versuche mit besonderen (von Hering angegebenen) Apparaten einer Nachprüfung unterzogen. Es zeigte sich, dass nach Ausschluss der hauptsächlichsten Fehlerquellen bei

keiner der untersuchten Personen durch Convergenz und Senkung der Blickebene eine nur irgendwie in Betracht kommende Erhöhung der optischen Einstellung der Augen nachgewiesen werden konnte, wenn die innere Akkommodation völlig ausgeschaltet war.

Später sind Schlösser und Hofhammer auf Grund klinischer Untersuchung einiger Aphakischer zu der Ansicht gekommen, dass jugendlichen Aphakischen noch ein gewisser Grad von Akkommodation möglich sei, während alte Leute davon meist nur sehr wenig zeigten. Bei einem 20jährigen Aphakischen fand Schlösser, dass er mit demselben Glase übernormale Sehschärfe für die Ferne hatte und Jäger Nr. 1 in 50 cm erkennen und lesen konnte.

Silex endlich erklärt das von ihm bei einem Aphakischen beobachtete gute Sehen in der Nähe mit dem Fernglase nicht durch Akkommodation, sondern durch geschicktes Verwenden der Zerstreuungskreise und vielleicht Benutzen der Randteile des Glases zum Sehen. Ähnlich äußern sich u. a. Davis und White. Später hat sich noch Beard (1897) auf Grund von 2 Fällen für eine von der Linse unabhängige Akkommodation ausgesprochen. Walter beobachtete einen früher kurzsichtig gewesenen Aphakischen, der mit demselben Cylinderglase in der Ferne $S = 0,4$ und in 28 cm Entfernung $S = 0,5$ hatte; er glaubte dies nur durch aphakische Akkommodation erklären zu können, die durch Vorwölbung des Glaskörpers im Pupillargebiete bei Kontraktion des Ciliarmuskels zustande komme. Unter Zugrundelegung der Krause'schen Angabe, dass der Brechungskoeffizient des Glaskörpers um 0,0065 höher sei, als der des Kammerwassers, berechnet Walter, dass die von ihm vermutete Akkommodation zustande kommen könne, wenn die in die Pupillaröffnung vorgewölbte Glaskörperkuppe einen Radius von 1,3 mm erhalte; bei Akkommodationsruhe müsste die vordere Glaskörperfläche völlig plan gedacht werden. Gegen diese Vermutung ist in erster Linie zu bemerken, dass die supponierte Vorwölbung des Glaskörpers bei Ciliarmuskelkontraktion die Annahme einer Druckdifferenz zwischen Glaskörper und vorderer Kammer während der Akkommodation zur Voraussetzung hat. Da eine solche im linsenhaltigen Auge beim Menschen nicht stattfindet, wie ich früher gezeigt habe, ist es nicht wahrscheinlich, dass sie im aphakischen Auge eintritt. Es wäre also zunächst nachzuweisen, ob Ciliarmuskelkontraktion überhaupt eine merkliche Glaskörpervorwölbung hervorbringen kann. Aber selbst wenn dem so wäre, würde, wie Walter selbst hervorhebt, seine Annahme nur für die alten Krause'schen Brechungsindices gelten. Alle neueren Beobachter haben eine wesentliche geringere Differenz zwischen den beiden Brechungsindices gefunden, Helmholtz z. B. nur 0,0017; Hirschberg und Matthiessen finden sogar den Index des Glaskörpers kleiner als den des Kammerwassers. Unter Zugrundelegung dieser Werte würde also selbst eine etwa eintretende Vorwölbung des Glaskörpers nicht den angenommenen Einfluss auf die Refraktion haben können. Ferner hat Lohnstein noch darauf aufmerksam gemacht, dass, auch wenn Walter's Voraussetzung der halbkugligen Glaskörpervorwölbung richtig wäre, die sphärische Aberration hier viel zu groß sein müsste, als dass einigermaßen deutliche Netzhautbilder entstehen könnten.

§ 163. Unter den Fehlerquellen, die bei derartigen klinischen Beobachtungen eine Akkommodation vortäuschen können, sind folgende die wichtigsten:

Das Lesen einer Schrift wird häufig irrtümlich als Beweis für genaue Einstellung des Auges angesehen, während dieselbe thatsächlich auch noch mit einem dioptrischen Fehler von gewisser Größe gelesen werden kann. Dieser muss im allgemeinen um so größer sein, je größer die benutzte Leseprobe ist; zu einigermaßen zuverlässigen Messungen darf also nur kleinste Druckschrift benutzt werden; aber selbst so feine Schrift wie Jäger Nr. 1 habe ich bei früheren Messungen noch mit einem dioptrischen Einstellungsfehler von 0,25 Dioptrien lesen können, wenn die Schrift sich in 50 cm Abstand befand; da bei dem aphakischen Auge die Netzhautbilder 1,3—1,5 mal größer sind, so wird dieses unter sonst gleichen Verhältnissen dieselbe Schrift auch mit einem entsprechend größeren Fehler noch lesen können. Ferner muss bei allen derartigen Messungen streng darauf gesehen werden, dass nicht ein mehr oder weniger großer Teil der Pupille verdeckt ist, denn in diesem Falle ermöglicht die Verkleinerung der Zerstreuungskreise das Erkennen der Schrift bei noch viel größerem Einstellungsfehler. Gerade beim Lesen in der Nähe kann leicht unwillkürlich ein solches teilweises Verdecken der Pupille durch die Lider stattfinden.

Auch das Verhalten des Pupillargebietes ist genau zu berücksichtigen: Wenn in ihm sich etwa ein mäßig dichter Nachstar mit einer kleinen Lücke findet, so kann diese als stenopäisches Loch wirken und das Erkennen der Schrift auch bei großem Einstellungsfehler ermöglichen.

Noch schwerer zu übersehen werden die Verhältnisse, wenn, wie gewöhnlich nach der Starextraktion, die Wölbung der Hornhaut von der Norm mehr oder weniger abweicht und für das Sehen in verschiedenen Abständen verschiedene Teile des Strahlenbündels maßgebend werden können (vgl. § 46).

Weiter werden beim Sehen in die Ferne und in die Nähe oft nicht die gleichen Partien der Brille benutzt. Wenn der Patient z. B. beim Lesen mit gesenkter Blickebene durch die Randteile des Glases schräg hindurchsieht, können die optischen Bedingungen wesentlich andere sein, als beim Sehen senkrecht durch die Gläsermitte.

Endlich ist darauf aufmerksam zu machen, dass die Zerstreuungsfiguren bei nicht genauer Einstellung für das aphakische Auge wesentlich andere sein werden als für das linsenhaltige; im letzteren wird bei ungenauer Einstellung im allgemeinen die Erkennbarkeit der Schrift durch die physiologische, von der Linse abhängige Polyopie in hohem Maße beeinflusst; beim Aphakischen fällt diese weg und es wird das Bild im ganzen mehr gleichmäßig verwaschener.

Meine eigenen Beobachtungen haben mich zur Überzeugung geführt, dass die genannten Umstände durchaus genügen, um die scheinbare Akkommodation der Aphakischen befriedigend zu erklären, auch ohne die Annahme einer besonders entwickelten Fähigkeit, undeutliche Bilder zu

enträtseln. Bei Untersuchung der wegen hochgradiger Achsenmyopie Operierten fiel in den letzten Jahren diese scheinbare Akkommodationsfähigkeit Aphakischer wieder mehrfach auf; man versuchte sie durch die Annahme zu erklären, dass das gebrochene Strahlenbündel in dem langen Auge einen verhältnismäßig spitzen Kegel darstelle und deshalb die Zerstreuungskreise bei nicht genauer Einstellung relativ klein seien; die Irrigkeit dieser Annahme wurde schon oben (§ 43) nachgewiesen. (Übrigens fehlen bisher zuverlässige Beobachtungen darüber, ob die scheinbare Akkommodation des achsenmyopisch-aphakischen Auges wirklich größer ist, als die des emmetropisch-aphakischen.)

§ 164. Für die vorhergehenden Betrachtungen war vorausgesetzt, dass der Abstand des Korrektionsglases vom Auge bei der Prüfung für Nähe und Ferne unverändert bleibe. In der That kann aber der Aphakische seine fehlende Akkommodation bis zu einem gewissen Grade dadurch ersetzen, dass er den Abstand des Glases vom Auge ändert.

In welchem Umfange dies möglich ist, ergiebt sich aus folgenden Beispielen: Es sei zur Korrektion des emmetropisch-aphakischen Auges ein Glas von 12,5 Dioptrien nötig, das so dicht an die Hornhaut gehalten wird, dass man seinen Abstand vom Hornhautscheitel = 0 setzen kann. Sein hinterer Brennpunkt liegt dann 80 mm hinter dem Hornhautscheitel. Wird das Glas 10 bezw. 20 mm vor den Hornhautscheitel gerückt, so braucht es nur noch eine Brennweite von 90 bezw. 100 mm, entsprechend 11,1, bezw. 10 Dioptrien, zu haben, damit sein Brennpunkt, wie vorher, 80 mm hinter dem Hornhautscheitel liege. Die Verschiebung des Korrektionsglases von 1 auf 2 cm Abstand ist somit gleichwertig einer Akkommodationsleistung von ca. 1 Dioptrie (entsprechend der Einstellung auf einen 90 cm vor dem Glase, also 110 cm vor der Hornhaut befindlichen Punkt).

Würde ein dicht vor die Hornhaut gehaltenes Korrektionsglas von 12,5 Dioptrien um 3 cm vorgerückt, so wäre $D = 12,5$; $B = 9$; $A = -3,5$. Diese Verschiebung wäre also einer Akkommodationsleistung im Betrage von ca. 3,5 Dioptrien äquivalent und würde somit der Einstellung auf einen 29 cm vor dem Glase, d. i. 32 cm vor dem Auge gelegenen Punkt entsprechen.

Alle die im vorstehenden besprochenen Umstände machen es verständlich, dass der Aphakische im allgemeinen ein für die meisten praktischen Bedürfnisse genügendes Sehen durch nur zwei Brillengläser erhält, von welchen eines das Auge für die Ferne korrigiert, während das andere, um ungefähr 4 Dioptrien stärkere, deutliches Sehen in einer mittleren Entfernung von ca. 25 cm ermöglicht, wenn das Glas sich in gleichem Abstande vor dem Auge befindet, wie das Fernglas; durch Annähern der Gläser kann dann

in größerem, durch Entfernen in kleinerem Abstande deutlich gesehen werden.

(Über die Korrektion des Astigmatismus im aphakischen Auge, das binoculare Sehen bei einseitiger und doppelseitiger Aphakie u. s. w. vgl. die Abschnitte XI u. XII. Litteratur s. am Schlusse von Abschnitt VII u. IX.)

Abschnitt XI.

Astigmatismus.

§ 165. Wollte man sich bei der Begriffsbestimmung des Astigmatismus an die ursprüngliche Bedeutung des Wortes halten, das nur besagt, dass von einem punktförmigen Objekte kein punktförmiges Bild auf der Netzhaut entsteht, so wären alle Augen astigmatisch, denn eine wirklich punktförmige Abbildung kommt, wie wir gesehen haben, im menschlichen Auge niemals zustande. Wenn wir von den durch die Chromasie bedingten Abweichungen absehen, hätten wir in dem vorliegenden Abschnitte die gesamten, durch die monochromatischen Aberrationen im Auge hervorgerufenen Störungen abzuhandeln. Von diesen bildet der »Astigmatismus« in dem heute gebräuchlichen Sinne des Wortes nur eine Unterabteilung. Dass wir ihn von jenen trennen und in einem eigenen Abschnitte gesondert erörtern, geschieht wesentlich aus praktischen Gründen.

Man pflegt seit Donders einen regulären und irregulären Astigmatismus zu unterscheiden. Eine scharfe und ganz befriedigende Trennung beider Arten lässt sich wegen des Fehlens einer ausgesprochenen Grenze zwischen beiden nur schwer durchführen. Erscheinungen, die man früher auf irregulären Astigmatismus zurückführte, wie die Strahlen der Sterne, haben sich bei genauerer Untersuchung als streng gesetzmäßige, mathematischer Behandlung zugängliche Phänomene erwiesen (vgl. § 44).

Der sogenannte reguläre Astigmatismus (einschließlich der Asymmetrien (s. u.) könnte allenfalls dahin definiert werden, dass hier die Abweichungen der brechenden Flächen von der sphärischen Form genügend gesetzmäßige sind, um eine mathematische Untersuchung des gebrochenen Strahlenbündels und innerhalb gewisser Grenzen, auch eine Korrektion durch cylindrische Gläser zuzulassen. Der irreguläre Astigmatismus wäre dem gegenüber im wesentlichen durch das Fehlen dieser Voraussetzungen charakterisiert. Extreme Fälle derart sind z. B. die unregelmäßigen Verkrümmungen der Hornhaut infolge von Narbenschrumpfung (zum Teil auch jene bei Keratoconus), die ungewöhnlich starke Entwicklung der (in geringerem Maße physiologischen) Brechungsunregelmäßigkeiten in der Linse, wie sie bei beginnendem Star auftreten, die Erscheinungen bei dem wahren und falschen Lenticonus u. a. m.

§ 166. Der reguläre Astigmatismus im engeren Sinne ist im allgemeinen (aber nicht ausschließlich) dadurch bedingt, dass von den brechenden Flächen (den beiden Hornhaut- und den beiden Linsenflächen) eine oder mehrere in dem für das Sehen in Betracht kommenden Gebiete (in sogleich zu besprechender Weise) von der sphärischen Form abweichen. Bei rechtwinkliger Incidenz eines homocentrischen Strahlenbündels auf den Scheitel der als centriert angenommenen Flächen gehört dann das gebrochene Strahlenbündel der ersten der früher (§ 17) aufgezählten Formen (Astigmatismus ohne Asymmetrie) (d. i. mit 2 Symmetrieebenen) zu. Im Anschlusse an diese werden wir noch eine andere Form von Astigmatismus besprechen, die von JAVAL als »cornée décentrée« bezeichnet, später von SULZER und insbesondere von GULLSTRAND genauer untersucht und in ihrer klinischen Bedeutung eingehender gewürdigt worden ist. Letzterer hat vorgeschlagen, sie als Asymmetrie oder Decentration zu bezeichnen.

Den ersten subjektiven Nachweis einer astigmatischen Strahlenbrechung erbrachte THOMAS YOUNG (1793) durch Versuche an seinen eigenen Augen. Er bezog die von ihm bei Untersuchung mit dem Optometer und mit einem leuchtenden Punkte beobachteten Erscheinungen auf Schiefstellung seiner Linse, weil sie nach Ausschalten der Brechung an der Hornhaut (durch Eintauchen in Wasser) noch fortbestanden. Da, wie wir früher sahen, schon infolge der Periskopie der Linse selbst eine beträchtliche Schiefstellung derselben nur geringen Astigmatismus bedingen würde, so ist es wahrscheinlicher, dass TH. YOUNG's Astigmatismus andere Ursachen hatte (etwa verschiedene Wölbung der Linsenflächen in den verschiedenen Hauptmeridianen (GULLSTRAND)).

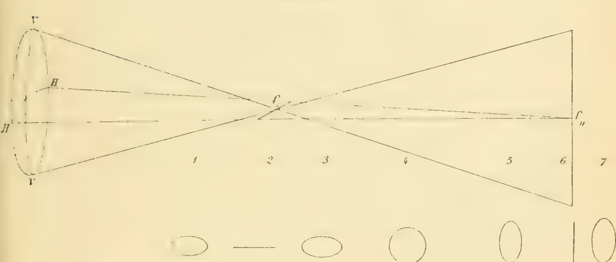
FISCHER (1810) und AIRY (1827) untersuchten gleichfalls den Astigmatismus an ihren eigenen Augen, GERSON erbrachte (1810) zuerst den Nachweis des Vorkommens von Hornhautastigmatismus. Die ersten mathematischen Untersuchungen zur Theorie des Astigmatismus und über die Form des astigmatischen Strahlenbündels verdanken wir HAMILTON (1828), STURM (1838) und SCHULTEN (1845). STURM hat das Verdienst, zuerst für die Berechnung bequem anwendbare Formeln entwickelt zu haben: das nach ihm genannte Conoid bildet einen ersten Versuch zu anschaulicher Darstellung des Strahlenganges bei Astigmatismus. Weitere wertvolle Beiträge zur Theorie brachten KUMMER, MATTHIESSEN, BOKLEN, LEROY u. a. In klinischer Hinsicht erfuhr die Lehre vom Astigmatismus wesentliche Förderung durch die Untersuchungen von DONDERS und KNAPP (1862), die auch das häufige Vorkommen von Astigmatismus am menschlichen Auge erkannten (worauf übrigens, nach einer Mitteilung von JAVAL, schon 1852 der französische Offizier GOULIER in einem versiegelten Schreiben an die Pariser Akademie aufmerksam gemacht hatte; auch ist dort schon betont, dass dabei häufig Besserung des Sehens durch Gläser möglich sei). Die Anwendung der Cylindergläser in der Praxis verdanken wir vor allem DONDERS. Nachdem mit dem Ophthalmometer die Möglichkeit einer genauen objektiven Bestimmung des Hornhautastigmatismus gegeben war, sind unsere klinischen Kenntnisse dieser Anomalie

wesentlich dadurch gefördert worden, dass Javal dem Instrumente eine für ausgedehntere Messungen geeignete Form gab.

In den letzten Jahren hat die Theorie des Astigmatismus eine beträchtliche Förderung und Erweiterung erfahren durch die eingehenden Untersuchungen von Gullstrand, die eine zum Teil wesentliche Umgestaltung unserer Anschauungen mit sich brachten.

Die einfachste und im menschlichen Auge verhältnismäßig am häufigsten vorkommende Form des Astigmatismus ist wesentlich dadurch charakterisiert, dass der um die Gesichtslinie gelegene Teil der Hornhaut in 2 zu einander senkrechten Hauptschnitten (»Meridianen«) verschieden starke Wölbung zeigt. Bis vor kurzem glaubte man allgemein, dass die Form des gebrochenen Strahlenbündels in diesem Falle durch das Sturm'sche Conoid

Fig. 22a.



mit seinen beiden zu einander und zum Leitstrahle senkrechten Brennlinien genügend genau wiedergegeben würde. Die Untersuchungen Gullstrand's haben aber gezeigt, dass die Approximation, die zu diesem Conoide führt, — die Brennlinien desselben sind selbst im unendlich dünnen Strahlenbündel nur durch eine approximative Rechnung möglich, — bei der im menschlichen Auge vorhandenen Größe der Aberrationswerte und der Pupillenöffnung im Verhältnisse zur Brennstrecke nicht zulässig ist und dass die Strahlenbrechung bei Astigmatismus im allgemeinen nicht annähernd durch dieses dargestellt werden kann. Es erscheint indessen aus Gründen, die sich zum Teile aus dem folgenden ergeben, zweckmäßig, auf das Sturm'sche Conoid hier kurz zurückzukommen.

Wir haben oben gesehen, dass in diesem (Fig. 22a) alle im vertikalen Hauptschnitte einfallenden Strahlen in dem Punkte $f_{,}$ der vorderen Brennlinie sich vereinigen, alle im horizontalen Hauptschnitte einfallenden Strahlen

dagegen im Punkte $f_{,,}$ der hinteren Brennlinie, der wegen der schwächeren Krümmung von HH weiter vom Scheitel der brechenden Fläche entfernt ist, als $f_{,}$. Die zwischen beiden Brennlinien gelegene Strecke $f_{,} f_{,,}$ heißt die Brennstrecke oder interfocale Strecke. Die Richtung der vorderen Brennlinie giebt zugleich die Richtung des am schwächsten gekrümmten Hauptschnittes der brechenden Oberfläche, die der hinteren Brennlinie jene des am stärksten gekrümmten Hauptschnittes.

Ein Strahlenbündel von angenähert dieser Form kann man sich zur Anschauung bringen, wenn man etwa ein photographisches Objektiv (bei dem die Aberrationswerte verschwindend klein sind) durch Vorsetzen passender Cylindergläser astigmatisch macht; das Bündel hat dann wenigstens zwei wirkliche Brennlinien (die aber nicht beide gerade sind, denn ihr Krümmungsunterschied ist gleich dem reciproken Werte der Brennstrecke). Ähnlich kann man im normalen Auge bei einer hinreichend engen Pupille und Vorsetzen genügend starker Cylindergläser ($>$ 4 Dioptrien) ein Strahlenbündel erhalten, das dem Sturm'schen Conoide wenigstens einigermaßen nahe kommt. Dagegen hat bei gewöhnlicher Pupillenweite und bei den gewöhnlichen Graden des physiologischen und pathologischen Astigmatismus das gebrochene Strahlenbündel keine Ähnlichkeit mit dem Sturm'schen Conoide (Gullstrand).

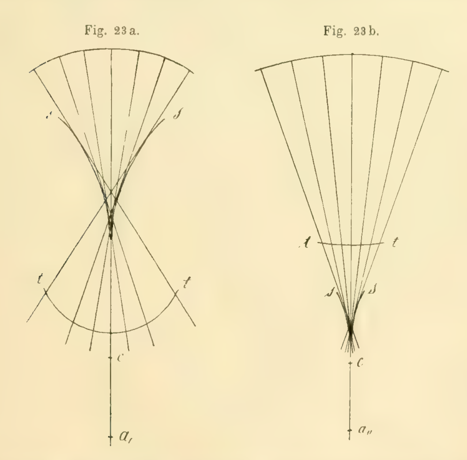
Wie ein leuchtender Punkt durch eine astigmatische Fläche unter zu Grundelegung des Sturm'schen Conoides abgebildet würde, lässt sich ermitteln, indem man einen weißen Schirm senkrecht zum Hauptstrahle an verschiedene Stellen des Strahlenbündels bringt. Bei kreisförmiger Begrenzung des auf eine astigmatische Fläche mit stärker gekrümmtem vertikalem Hauptschnitte auffallenden Strahlenbündels ($VHVH$) ist der Querschnitt des gebrochenen Bündels zwischen der brechenden Fläche und der vorderen Brennlinie (etwa entsprechend der Gegend von 1 in der Figur) eine Ellipse mit horizontaler großer Achse; die Excentricität dieser Ellipse nimmt mit der Annäherung an den vorderen Brennpunkt $f_{,}$ zu. Im vorderen Brennpunkte selbst verwandelt sich die Ellipse in eine wagerechte Linie (2). Hinter dem vorderen Brennpunkte bildet der Querschnitt des Strahlenbündels zunächst wieder eine wagerechte Ellipse (3), deren Excentricität allmählich abnimmt und in der der Zahl 4 entsprechenden Gegend des Strahlenbündels $= 0$ wird, d. h. an dieser Stelle bildet der Querschnitt des Bündels einen Kreis, den »Brennkreis«; weiterhin, in der Gegend von 5, finden wir wieder eine Ellipse mit senkrecht stehender großer Achse und gegen $f_{,,}$ hin immer zunehmender Excentrizität. In $f_{,,}$ geht die Ellipse in eine vertikale Linie über. Noch weiter nach rückwärts (Gegend von 7) bildet der Querschnitt des Strahlenbündels wieder eine immer größer werdende vertikale Ellipse.

Beide Brennlinien sind nicht gleich groß, vielmehr ist die hintere immer

größer als die vordere, und zwar verhält sich die Länge der vorderen zur Länge der hinteren wie die hintere Brennweite des stärkst brechenden zur hinteren Brennweite des schwächst brechenden Meridians (Knapp). Für den Ort des Brennkreises ergiebt sich leicht, dass die Abstände des Brennkreismittelpunktes von der vorderen, bezw. hinteren Brennlinie sich verhalten, wie diese Brennlinien selbst. Der Brennkreis liegt also nicht in der Mitte der interfocalen Strecke, sondern stets näher zur vorderen Brennlinie hin, und zwar verhältnismäßig um so näher, je höher der Grad des Astigmatismus ist.

§ 167. Die Form des astigmatischen Strahlenbündels unter Berücksichtigung der Aberrationen ist zuerst von Gullstrand festgestellt worden; indem ich bezüglich der Einzelheiten auf die frühere Darstellung (§ 47) verweise, erinnere ich hier nur daran, dass bei positiven Aberrationswerten

Fig. 23 a. Fig. 23 b.



das typisch astigmatische Strahlenbündel ohne Asymmetrie zwei konvexkonkave Brennflächen mit je einer der *t*-Linie des betreffenden Hauptschnittes entsprechenden Kante bildet; die Gestalt dieser Brennflächen kann man sich approximativ veranschaulichen, wenn man die *s*-Linie des einen

Hauptschnittes längs der t-Linie des anderen so gleiten lässt, dass die Spitze immer auf dieser liegt, während sowohl die Ebene, in welcher die Kurve liegt, wie ihre Tangente in der Spitze zur ursprünglichen Lage parallel bleibt (Fig. 23a u. 23b). Man kann sich diese Form des Astigmatismus zur Anschauung bringen, wenn man auf die ebene Fläche einer plankonvexen Linse von ca. + 10 D. die ebene Fläche einer Cylinderlinse von + 3,0 Dioptrien legt, die Kombination an Stelle des Objektivs in dem Auszuge eines photographischen Apparates so anbringt, dass die Cylinderlinse dem Lichte zugekehrt ist, und nun durch Änderung des Abstandes der Mattscheibe (bezw. der Lichtquelle) die verschiedenen Querschnitte des Strahlenbündels auf die Scheibe bringt. Man erhält dann ein astigmatisches Strahlenbündel mit positiven Aberrationswerten (wie jenes im Auge); die Kanten der beiden Brennflächen sind nach der Linse zu konkav. Eben auf dem Querschnitte, auf welchem die letzte Spur der Kante der ersten Brennfläche sichtbar ist, kommen in dem vorliegenden Falle die Schnittlinien mit der 2. Brennfläche beiderseits zum Vorschein, die hier mit der Begrenzungslinie des Strahlenbündelquerschnittes zusammenfallen. Wird dagegen die sphärische Linse dem Lichte zugekehrt und mit einer schwächeren Cylinderlinse, etwa + 1,0 Dioptrie, verbunden, so erhält man ein Strahlenbündel, innerhalb dessen der Astigmatismus längs 2 Strahlen aufgehoben ist; man kann dies daran erkennen, dass sich ein Querschnitt des Strahlenbündels findet, auf dessen Begrenzungslinie an 2 einander gegenüberstehenden Punkten ein pfeilspitzenähnliches Aussehen zu Tage tritt. An einem emmetropischen Auge kann man die fraglichen Erscheinungen prüfen, indem man es durch Vorsetzen von Cylindergläsern von geeigneter Stärke astigmatisch macht und als Sehobjekt einen leuchtenden Punkt benutzt. Hierbei treten, abgesehen von den Strahlenbildungen und den daraus resultierenden Erscheinungen, dieselben Schnittlinien der Brennflächen auf, wie wir sie beim Experimente mit der mit großer Aberration behafteten sphärocylindrischen Kombination erzeugen können. Die der Strahlenbildung zu Grunde liegende Kantenbildung auf der Brennfläche muss an der Kante der hinteren Brennfläche im astigmatischen Auge eine ähnliche Strahlenbildung verursachen, wie sie um einen leuchtenden Punkt auftritt. An den übrigen Querschnitten muss diese Kantenbildung eine Zerklüftung zur Folge haben, d. h. es müssen die entsprechenden Zerstreuungsbilder abwechselnd helle und dunkle Linien aufweisen, deren Anordnung wir nicht voraussagen können. Dass beides zutrifft, ist leicht zu konstatieren, ebenso wie, dass wenn man von diesen Erscheinungen absieht, die Schnittlinien der Brennflächen bei verschiedenen Graden von Astigmatismus leicht erkannt werden können« (Gullstrand).

Zur Illustration des Gesagten möge noch die Darstellung Gullstrand's nach den Beobachtungen an seinem Auge hier Platz finden:

»Wenn ich bei einem Pupillendurchmesser von 4 mm vor mein rechtes Auge einen Cylinder von 5 Dioptrien halte, so kommen Schnittlinien beider Brennflächen nicht auf einem und demselben Querschnitte vor, sondern die beiden Brennflächen passieren bei stetiger Abänderung der sphärischen Korrektion nacheinander Revue und das gebrochene Strahlenbündel hat wirklich zwei ‚dünnste' Querschnitte. Nehme ich aber einen Cylinder von 4 Dioptrien, so finde ich auf dem letzten Querschnitte, welcher eine Schnittlinie der einen Brennfläche zeigt, schon die Kante der anderen.« (Dies entspricht der früher bei anderer Gelegenheit erwähnten Thatsache, dass Gullstrand zwischen dem optischen Centrum und dem 2 mm von ihm entfernten Rande der optischen Zone einen Refraktionsunterschied von 4 Dioptrien gefunden hatte.) »Je geringer der künstliche Astigmatismus ist, um so breiter wird der der Pupille am nächsten liegende ‚dünnste' Querschnitt, während der andere nicht viel breiter wird, aber immer mehr die für die gewöhnliche Sternfigur charakteristischen Strahlen in der dieser zukommenden Anordnung aufweist. Da bei geringem Astigmatismus, von 2,5 Dioptrien an, der Astigmatismus längs 2 Strahlen aufgehoben ist, so tritt dementsprechend das erwähnte, pfeilspitzenähnliche Aussehen an zwei einander gegenüberliegenden Punkten auf der Begrenzungslinie des Zerstreuungskreises auf, obwohl die Erscheinung wegen der Zerklüftung nicht so leicht wahrzunehmen ist, wie im Experimente mit der Linsenkombination.«

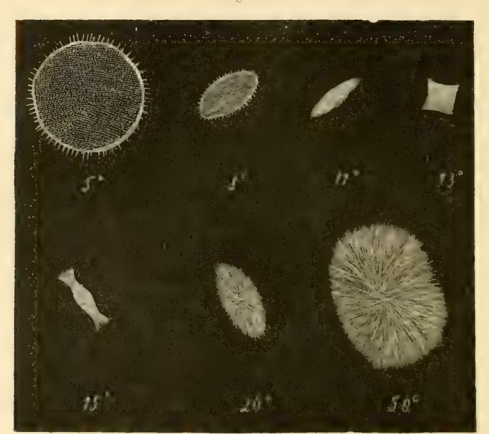
§ 168. An der Hand der geschilderten Verhältnisse, die sich zunächst auf die (einfachste) Form des Astigmatismus »ohne Asymmetrie« beziehen, wollen wir versuchen, eine Vorstellung vom Sehen und den Sehstörungen der Astigmatiker in diesen Fällen zu gewinnen, um daran die Besprechung einiger Untersuchungsmethoden des Astigmatismus zu knüpfen.

Die Untersuchung mittels eines leuchtenden Punktes ist, wie schon aus dem Früheren hervorgeht, insbesondere für das genauere Studium der Konstitution des gebrochenen Strahlenbündels von großer Bedeutung. Aber auch für rein klinische Untersuchungen mit vorwiegend praktischem Ziele kann sie von Nutzen sein. Bei wechselnder Einstellung des Auges (durch Akkommodation oder Vorsetzen verschieden starker Gläser) erscheint dem Astigmatischen die Zerstreuungsfigur eines leuchtenden Punktes je nach der Einstellung in einer oder der anderen Richtung verzogen, unter sonst gleichen Verhältnissen um so mehr, je stärker der Grad des Astigmatismus ist. Bei höheren Graden lassen sich unter Umständen die Stellen der dünnsten Querschnitte des Strahlenbündels genügend genau feststellen, um aus der Differenz der zu den Einstellungen benutzten Gläser (bei Ausschluss der Akkommodation) einen Schluss auf den Grad des Astigmatismus zu gestatten. Die so ermittelten Werte können indessen, wie schon aus dem vorhergehenden ersichtlich ist, im allgemeinen nicht sehr genau sein.

Die nebenstehende Figur (90), die einer sehr regelmäßigen Form von Astigmatismus entspricht, zeigt die Zerstreuungsbilder des rechten Auges von Müller-Rée bei verschiedenen Einstellungen (S mit — 7,0 D. ⌒ cyl. — 1,5 D. Achse 150° = 6/6): die Figur kann auch eine Vorstellung davon geben,

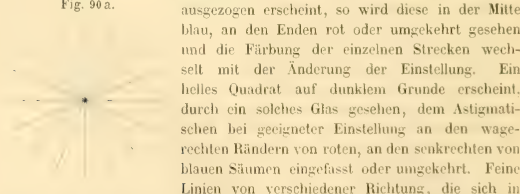
in wieweit in solchen einfachen Fällen eine Abweichung von den nach dem STURM'schen Conoide zu erwartenden Zerstreuungsbildern statthat.

Fig. 90.



Betrachtet der Astigmatische einen Lichtpunkt durch ein vorwiegend rote und blaue Strahlen durchlassendes Kobalt-) Glas bei solcher Einstellung, dass der Punkt angenähert zu einer Linie ausgezogen erscheint, so wird diese in der Mitte blau, an den Enden rot oder umgekehrt gesehen und die Färbung der einzelnen Strecken wechselt mit der Änderung der Einstellung. Ein helles Quadrat auf dunklem Grunde erscheint, durch ein solches Glas gesehen, dem Astigmatischen bei geeigneter Einstellung an den wagerechten Rändern von roten, an den senkrechten von blauen Säumen eingefasst oder umgekehrt. Feine Linien von verschiedener Richtung, die sich in gleichem Abstande vom Auge befinden (z. B. die einer Strahlenfigur Fig. 90a), werden nicht gleichzeitig in voller Schärfe gesehen. Wegen des physiolo-

Fig. 90a.



gischen Astigmatismus des »normalen« Auges sieht auch dieses in der Regel einzelne Linien von bestimmter Richtung schärfer und schwärzer als die anderen, mehr grau und verwaschen erscheinenden. Beobachter, die ihre Akkommodation genügend beherrschen, können in einer Reihe von Fällen durch Änderung derselben willkürlich bald die der Horizontalen, bald die der Vertikalen sich nähernden Linien schärfer sehen. Das gleiche kann vielfach ohne Änderung der Akkommodation durch Vorsetzen sphärischer Gläser von verschiedener Stärke erreicht werden. Indessen kommt es oft vor, dass bei solcher Untersuchungsweise nur die mit dem stärkst brechenden Hauptschnitte der Hornhaut parallele Linie der Sternfigur deutlicher hervortritt, als die anderen, sodass z. B. bei der klinischen Untersuchung mittels dieser Methode der Astigmatismus erst gefunden wird, wenn man das Auge kurzsichtig macht. Die Thatsache (auf die Gullstrand aufmerksam gemacht hat) erklärt sich aus dem verschiedenen Verhalten der beiden dünnsten Querschnitte des gebrochenen astigmatischen Strahlenbündels.

Bei Einstellung auf eine ungefähr in der Mitte zwischen den dünnsten Querschnitten gelegene Stelle des Strahlenbündels können alle Linien der Strahlenfigur in angenähert gleicher Schärfe erscheinen; dann wird aber keine in voller Schärfe gesehen. Die Thatsache, dass man bei einer gewissen Einstellung alle Striche gleich scharf sehen kann, ist öfter unzutreffend als Beweis für das Vorkommen partieller Kontraktionen des Ciliarmuskels angesehen worden (s. u.). Der Unterschied in der Schärfe der in verschiedenen Richtungen verlaufenden Strahlen ist im allgemeinen um so größer, je größer der Astigmatismus, und bei gleichen Graden von Astigmatismus um so leichter bemerkbar, je feiner die Linien sind. (Denn die Zerstreuungskreise eines nicht ganz scharf abgebildeten Objektes werden um so eher bemerklich, je feiner dieses ist.)

Feine, zu einander senkrechte Linien kann das astigmatische Auge in einer Reihe von Fällen gleichzeitig scharf sehen, wenn sie sich in verschiedenem Abstande vom Auge befinden; die Größe der hierzu nötigen Differenz der Entfernung hängt wieder vom Grade des Astigmatismus ab. Sind die zur Untersuchung benutzten Objekte fein genug, so kann die Messung dieser Differenz Anhaltspunkte für die Ermittlung des Grades des Astigmatismus geben; (v. Zehender hat ein auf diesem Prinzip beruhendes Instrument angegeben.) Ich benutzte bei einer Reihe von Messungen feinste Kokonfäden, die in 2 zu einander senkrechten Richtungen über 2 ebene Glasplatten gespannt waren und deren Abstand vom Auge messbar variiert werden konnte. Umgekehrt kann man in einer Reihe von Fällen (aber keineswegs in allen) durch passende Cylindergläser es dahin bringen, dass die in einer Ebene befindlichen feinen Linien verschiedener Richtung, von welchen ohne Glas nur einzelne deutlich erschienen, alle angenähert

gleich deutlich gesehen werden; das Verfahren, das zur subjektiven Bestimmung des Astigmatismus zum Teile auch heute geübt wird, ist bei vorhandener Asymmetrie oft vollkommen unanwendbar, immer unsicher« (GULLSTRAND).

Als Sehobjekte dienen bei derartigen Untersuchungen u. a. die SNELLEN'sche Strahlenfigur oder die BECKER'schen Strichproben (verschiedene Gruppen von parallelen Linien, derart angeordnet, dass jede Gruppe eine andere Richtung hat). Auch ein von JAVAL angegebenes Instrument gehört hierher, bei welchem 2 aus je 24 Linien gebildete Sternfiguren nach Vorsetzen von Konvexgläsern mit parallelen Gesichtslinien betrachtet werden; man sucht Stärke und Stellung desjenigen Cylinderglases auf, mit dem die verschiedenen Linien des Sternes angenähert gleich und möglichst scharf erscheinen.

Das astigmatische Auge kann auch nicht alle Teile einer aus feinen koncentrischen Kreisen gebildeten Figur gleichzeitig ganz scharf sehen. Bei Fixieren der Mitte der Figur treten einzelne einander gegenüberliegende Sektoren der Kreise schärfer hervor, als die übrigen Kreisteile. Bei Akkommodationsänderungen kann sich die Richtung der scharf gesehenen Sektoren ändern.

Linien von gleicher Länge, die der Richtung der stärksten, bezw. schwächsten Hornhautkrümmung entsprechend zu einander senkrecht stehen, werden vom Astigmatischen nicht gleich lang gesehen; in ähnlicher Weise können Quadrate als Rechtecke, Kreise als Ellipsen, kurz die meisten Gegenstände entsprechend mehr oder weniger verzerrt erscheinen, und zwar im allgemeinen um so mehr, je näher die Netzhaut einem »dünnsten Querschnitte« des Strahlenbündels liegt. Die Verzerrung der Objekte wird am geringsten an jener Stelle des Strahlenbündels sein, wo der Querschnitt am wenigsten von der Kreisform abweicht, bei solchen Strahlenbündeln also, deren Form sich der des STURM'schen Conoids nähert, entsprechend der Stelle des Brennkreises. Die verbreitete Angabe »der Astigmatiker sieht die Gegenstände verzerrt«, muss dementsprechend eingeschränkt werden: ist der Querschnitt des Strahlenbündels angenähert kreisförmig, so erscheinen die gesehenen Gegenstände nicht verzerrt, sondern nur verwaschen. (Dabei ist davon abgesehen, dass der Querschnitt des Strahlenbündels im allgemeinen nicht an allen Stellen gleiche Helligkeit besitzt, wodurch die Erkennbarkeit der gesehenen Objekte wesentlich beeinflusst werden kann.)

Nicht selten beobachtet man bei Astigmatischen unoculare Diplopie (oder Polyopie), die sich aus dem Verhalten der Brennstrecke, insbesondere unter Berücksichtigung der ungleichmäßigen Lichtverteilung in den verschiedenen Strahlenbündelquerschnitten, unschwer erklären lässt. An ihrem Zustandekommen ist die Linse wohl wesentlich mit beteiligt. Jedenfalls spricht eine Beobachtung von HUMMELSHEIM (1901) nicht unbedingt dagegen.

der bei eingehender Untersuchung hierhergehöriger Fälle fand, dass bei einigen das Doppeltsehen aufhörte, wenn die Hornhautbrechung mittels Orthoskopes ausgeschaltet war. Unter Umständen lässt sich die Diplopie objektiv nachweisen, wenn man mit punktförmiger Lichtquelle ophthalmoskopiert: bei richtiger Einstellung erscheinen dann zwei helle Punkte auf der Netzhaut des Untersuchten (GULLSTRAND). In normalen Augen kann man entsprechendes Doppeltsehen durch Vorsetzen geeigneter cylindrischer Gläserkombinationen hervorrufen.

(Ob und in welchem Umfange etwa bei den vielfach beschriebenen Fällen von »hysterischem« uniocularem Doppeltsehen die hier besprochenen Verhältnisse eine Rolle spielen, muss noch dahingestellt bleiben.)

Die Frage nach dem Sehen der Astigmatiker unter gewöhnlichen Verhältnissen, insbesondere die, auf welchem Querschnitte des Strahlenbündels die Bedingungen für deutliches Sehen die günstigsten sind, ist nach verschiedenen Richtungen hin untersucht worden. So lange man in dem STURM'schen Conoide einen genügend zutreffenden Ausdruck der Thatsachen sehen zu können glaubte, war man vielfach der Meinung, dass die Astigmatiker (soweit es ihre Akkommodation gestattet) zum deutlichen Sehen eine Brennlinie bevorzugten (nach JAVAL die vertikale, nach MAUTHNER die vertikale oder horizontale). Die Irrigkeit dieser Annahme konnte ich darthun, indem ich mittels eines astigmatisch gemachten photographischen Objektivs, also unter Bedingungen, bei welchen das gebrochene Strahlenbündel thatsächlich dem STURM'schen Conoide genügend entspricht, die Erkennbarkeit des Bildes einer Druckschrift an verschiedenen Stellen der Brennstrecke untersuchte. Es zeigte sich, dass das Bild der Schrift bei Einstellung auf den Brennkreis verhältnismäßig am leichtesten und weitaus leichter zu erkennen war, als bei Einstellung auf die Brennlinien. Die Annahme, dass jene Ergebnisse im wesentlichen auch auf das menschliche Auge anwendbar seien, ist nach GULLSTRAND's Untersuchungen nicht mehr haltbar: die Frage, ob der Astigmatiker zum deutlichen Sehen auf eine Brennlinie oder den Brennkreis einstellt, ist im wesentlichen gegenstandslos geworden, seitdem nachgewiesen ist, dass das im Auge gebrochene Strahlenbündel dem STURM'schen Conoide nicht genügend entspricht. Wollte man aus Versuchen, die ich an astigmatischen und an künstlich astigmatisch gemachten Augen angestellt habe, Schlüsse auf das Sehen der Astigmatiker ziehen, so ließe sich etwa sagen, dass die Stelle, welche der Astigmatiker zum deutlichen Sehen von Druckschrift benutzt, häufig ungefähr in der Mitte zwischen den Stellen gefunden wird, die zum scharfen Sehen von zum Hauptmeridiane parallelen Linien benutzt werden und welche im allgemeinen den dünnsten Querschnitten des Strahlenbündels entsprechen dürften. Bei allen diesen Erörterungen darf nicht vergessen werden, dass der Astigmatiker je nach der Art des betrachteten Objektes verschiedene

Stellen des Strahlenbündels bevorzugen wird, soweit es seine Akkommodationsfähigkeit erlaubt: er wird anders einstellen, wenn in dem betreffenden Objekte wagerechte Linien vorwiegen, als bei Betrachtung einer Figur mit vorwiegend senkrechten Linien, wieder anders bei Betrachtung punktförmiger oder runder Gegenstände u. s. w.

§ 169. Die gebräuchlichsten klinischen Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus sind: a) objektive: 1. ophthalmometrische und 2. skiaskopische Bestimmung, b) subjektive: Prüfung mittels Leseprobe, leuchtenden Punktes oder Sternstrahles. Die mit diesen verschiedenen Bestimmungsmethoden erhaltenen Ergebnisse weichen zuweilen beträchtlich voneinander ab und können nicht ohne weiteres zu einander in Beziehung gebracht werden.

Bei Untersuchung mittels des Javal'schen Ophthalmometers wird, wie schon erwähnt, genau genommen nicht der wirkliche Radius in einem Punkte der Hornhaut ermittelt, sondern der Schnittpunkt zwischen den Normalen in zwei Punkten der Hornhaut, die (bei dem gebräuchlichen Modelle) in einem Abstande von ca. 3 mm von einander liegen. Dieser Schnittpunkt wird annäherungsweise als Krümmungsmittelpunkt des von den beiden Normalen eingefassten Bogenelementes der Hornhaut angesehen und für dieses angenähert Krümmung und Grad des Krümmungsunterschiedes beider Hauptschnitte festgestellt.

Ein auf dem Prinzip der Denivellation beruhendes, handliches Ophthalmometer hat Gullstrand angegeben.

Die Denivellation (die auch zur Bestimmung der Hauptmeridiane des Hornhautastigmatismus beim Javal'schen Ophthalmometer dient) lasst sich in folgender Weise anschaulich machen: Betrachtet man eine gerade Linie durch ein verdoppelndes Prisma, so wird diese einfach gesehen, so lange sie mit der Ebene zusammenfallt, in welcher das Prisma verdoppelt. Wenn die Linie aber einen Winkel mit dieser Ebene bildet, z. B. das Prisma um die Gesichtslinie als Achse gedreht wird, sieht man 2 Linien; die beiden Bilder liegen nicht mehr in dem gleichen Niveau, sind »denivelliert«. Wenn eine solche Linie mit der Verdoppelungsebene des verdoppelnden Prismas eines Ophthalmometers fest verbunden ist, so findet man bei Untersuchung einer symmetrischen, sphärischen oder elliptischen Hornhaut keine Denivellation, wenn die Hornhautachse auf der Verlangerung der Ophthalmometerachse liegt. Ist die Hornhaut asymmetrisch, so ist in den beiden Hauptmeridianen die Denivellation = 0, dagegen in den anderen Meridianen vorhanden, hat ihr Maximum bei einem Winkel von 45° mit den Hauptmeridianen und ist um so großer, je großer der Astigmatismus; letzterer lasst sich daher aus dem Grade der Denivellation ermitteln.

Zu einer vorläufigen Feststellung des Vorhandenseins von Hornhautastigmatismus wie zur Schätzung seiner Größe und der Richtung seiner Hauptmeridiane kann das Placido'sche Keratoskop dienen, dessen koncentrische schwarze und weiße Kreise an einer regulär astigmatisch gewölbten Hornhautoberfläche als elliptische Figuren gespiegelt werden, derart,

dass die kurze Achse dem Hauptschnitte stärkster Krümmung entspricht. Das Keratoskop von de Wecker und Masselon hat statt der koncentrischen Kreise ein aus weißen Streifen gebildetes Quadrat auf schwarzem Grunde, von dem 2 einander gegenüberliegende Seiten variable Länge haben. Cl. du Bois-Reymond benutzt einen weißen Kreis auf dunklem Grunde, der in einer astigmatischen Hornhaut als Ellipse gespiegelt wird. Dreht man den Kreis um eine Achse so, dass sein einer Rand sich an bestimmter Stelle dem Auge nähert, so kann man es dahin bringen, dass das Hornhautspiegelbild kreisförmig erscheint; die Neigung der Kreisscheibe kann den Grad des Astigmatismus erkennen lassen. Gullstrand hat bei seinen Messungen die Hornhautspiegelbilder koncentrischer Kreise oder quadratischer Figuren photographiert; bei einer von ihm auch zu klinisch-ophthalmometrischen Untersuchungen gebrauchten Modifikation wird als Objekt eine Figur benutzt, die bei Spiegelung an einer sphärischen Fläche als Quadrat erscheint.

Die ophthalmoskopische Untersuchung kann auf verschiedene Arten zur Ermittlung des Astigmatismus dienen.

1. Da bei Astigmatismus die Vergrößerung in den verschiedenen Hauptschnitten nicht die gleiche ist, so erscheint eine in Wirklichkeit runde Papille bei der Augenspiegeluntersuchung im allgemeinen nicht rund, sondern oval. Insbesondere giebt die Art der Veränderung der Papillenform im aufrechten und im umgekehrten Bilde brauchbare Anhaltspunkte (Schweigger). Bei Untersuchung im aufrechten Bilde ist die Vergrößerung im stärker brechenden Meridian größer als im schwächer brechenden; dagegen ist im umgekehrten Bilde die Vergrößerung im schwächer brechenden Meridian größer (so lange die Lupe um weniger als ihre Brennweite vom Auge entfernt ist). Danach ist bei direktem Astigmatismus (d. i. stärkerer Krümmung des vertikalen Meridians) im aufrechten Bilde die Vergrößerung im senkrechten Hauptschnitte stärker, die Papille erscheint als senkrecht gestelltes Oval; für das umgekehrte Bild dagegen ist die Vergrößerung im wagerechten Hauptschnitte stärker, die Papille erscheint als horizontal gestelltes Oval. Auch die Änderungen, die die Papille bei Variieren des Abstandes des Spiegels beim aufrechten und der Lupe beim umgekehrten Bilde zeigt, können zur Ermittlung des Astigmatismus benutzt werden (Javal 1866). Dieses für die Diagnose des Astigmatismus vorgeschlagene Verfahren ist für eine Gradbestimmung desselben kaum zu verwerten; es gestattet nicht viel mehr als Schätzungen.

2. Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde ermittelt man nach den für die Refraktionsbestimmung bei nicht astigmatischer Hornhaut giltigen Regeln diejenigen sphärischen Gläser, mit welchen ein horizontales, bezw. ein vertikales Detail des Augenhintergrundes (z. B. Teile des Papillenrandes oder Gefäßchen) am deutlichsten gesehen wird. Die Differenz entspricht ungefähr dem Grade des Astigmatismus.

3. Die Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde, etwa nach Schmidt-Rimpler (s. § 89), ergiebt z. B. bei Vorhandensein von Astigmatismus mit senkrecht, bezw. wagerecht gerichteten Hauptmeridianen, dass in verschiedenem Abstande des als Objekt dienenden Gitters vom Auge nur die senkrechten bezw. nur die wagerechten Schattenlinien auf der Netzhaut scharf erscheinen. Die Differenz der zu scharfer Abbildung nötigen Abstände entspricht dem Grade des Astigmatismus.

Diese früher vorwiegend geübten Methoden zur objektiven Bestimmung des Totalastigmatismus sind in den letzten Jahren fast ganz verdrängt worden durch die schon von Bowman (1859) zur Erkennung von Keratoconus und Astigmatismus gelegentlich benutzte, von Cuignet (1873) systematisch ausgebildete skiaskopische Untersuchung. Bei senkrechter bezw. wagerechter Richtung der Hauptmeridiane ist das Verfahren leicht und meist ohne weiteres anwendbar: Drehung des Spiegels um seine wagerechte, bezw. senkrechte Achse ergiebt die Refraktion in beiden Hauptschnitten. Schräge Richtung der Hauptmeridiane wird beim Skiaskopieren meist daran erkannt, dass die Scheinbewegung des beleuchteten Feldes in einer anderen Ebene erfolgt, als die Bewegung des (um die vertikale oder horizontale Achse gedrehten) Spiegels. Sehr häufig kann man durch Ändern der Drehungsachse des Spiegels angenähert die Richtung der Hauptmeridiane ermitteln. Doch ist in allen solchen Fällen eine genauere Achsenbestimmung mit Ophthalmometer bezw. subjektiver Prüfung unerlässlich.

Die skiaskopische Refraktionsbestimmung giebt den ophthalmometrisch festgestellten Werten gegenüber den Totalastigmatismus an, der für die Brillenbestimmung ja in erster Linie in Betracht kommt. Doch darf man sich für letztere nicht mit den skiaskopisch ermittelten Werten allein (unter Verzicht auf die subjektive Prüfung) begnügen: Skiaskopiert man bei geradeaus gerichtetem Blicke, so wird die Bestimmung oft durch ungünstige Beleuchtungsverhältnisse des Augenhintergrundes schwierig und der zu Untersuchende akkommodiert leicht: lässt man aber das untersuchte Auge etwas zur Seite blicken (so, wie beim Ophthalmoskopieren der Papille), wie es gewöhnlich geschieht, so entsprechen die gefundenen Werte nicht immer genügend genau jenen bei Prüfung in der Gesichtslinie, die für die Brillenkorrektion maßgebend sind. Bei entsprechender Berücksichtigung dieser Fehlerquellen aber leistet die skiaskopische Methode in der Praxis sehr gute Dienste und giebt wertvolle Anhaltspunkte für die subjektive Refraktionsbestimmung.

§ 170. Zur Bezeichnung des Grades und der Art des Astigmatismus bestimmt man zunächst die Refraktion in den beiden Hauptmeridianen der Hornhaut so, wie in einem Auge mit sphärischen brechenden Flächen. Die Differenz zwischen der Refraktion in beiden Hauptschnitten giebt den

Grad des Astigmatismus an. Die Bestimmung seiner Art erfolgt nach der Lage der Netzhaut des ruhenden Auges zur Brennstrecke des STURM'schen Conoides:

1. Liegt die Netzhautebene vor der Ebene der vorderen Brennlinie (bezw. des ersten dünnsten Querschnittes), so ist das Auge in allen »Meridianen« hypermetropisch, in den verschiedenen in verschieden hohem Maße: Zusammengesetzt hypermetropischer Astigmatismus.

2. Liegt die Netzhaut in der Ebene des ersten dünnsten Querschnittes, so besteht für den betreffenden Meridian emmetropische, für die anderen hypermetropische Refraktion: Einfach hypermetropischer Astigmatismus.

3. Liegt die Netzhaut hinter dem hinteren dünnsten Querschnitte, so besteht zusammengesetzt myopischer Astigmatismus.

4. Liegt die Netzhaut in der Ebene des hinteren dünnsten Querschnittes, so besteht einfach myopischer Astigmatismus.

5. Liegt die Netzhaut zwischen den beiden dünnsten Querschnitten, so besteht im allgemeinen für die in dem einen Meridiane einfallenden Strahlen Hypermetropie, für die in dem dazu senkrechten Meridiane einfallenden Myopie: Gemischter Astigmatismus.

Zur Bezeichnung der Richtung der Hauptmeridiane sind verschiedene Vorschläge gemacht worden [so von SWANZY (1886), ARMAIGNAC, BOUCHERON, BETTREMIEUX, BURNETT, von einer französischen Kommission (1887), von KNAPP 1888, HARLAN 1893 u. a. m.]. Viele beschränken sich darauf, die Abweichung des betreffenden Meridians nach außen oder innen vom vertikalen, bezw. nach oben oder unten vom horizontalen Hornhautschnitte in Graden anzugeben. KNAPP schlägt auf Grund des meist auffallend symmetrischen Baues beider Hornhäute derselben Person vor, beiderseits vom nasalen Ende des horizontalen Meridians mit 0° beginnend nach aufwärts zu zählen, sodass das obere bezw. untere Ende des vertikalen Meridians 90° bezw. 270°, das äußere Ende des horizontalen 180° entspricht. SNELLEN empfiehlt, vom oberen Ende des vertikalen Meridianes als Nullpunkt auszugehen und nasal- und temporalwärts bis 90° zu zählen. (Eine Verständigung hierüber und Benutzung einheitlicher Bezeichnungsweisen wäre recht erwünscht.)

In der Mehrzahl der Fälle findet man ophthalmometrisch mittels der Denivellation die beiden Hauptmeridiane senkrecht zu einander stehend, nur in einer verhältnismäßig kleinen Zahl einen anderen Winkel. (Im Flächenelement stehen die Hauptmeridiane immer senkrecht aufeinander; bei der ophthalmometrischen Bestimmung wird eine größere Fläche gemessen, für die die Denivellation andere Winkel ergeben kann.) ROURE bezeichnet solche Fälle als biobliquen Astigmatismus.

Vergleicht man die skiaskopisch oder mit einer der subjektiven Methoden ermittelten Werte des Astigmatismus mit den ophthalmometrischen, so findet man meist mehr oder weniger große Unterschiede, worauf schon

die früheren Beobachter Donders, Knapp u. a.[1] aufmerksam geworden waren. Sulzer giebt für diese Differenzen folgendes an: 1. Die Augen ohne ophthalmometrischen zeigen subjektiv schwachen inversen Astigmatismus. 2. Die Augen, die ophthalmometrisch schwachen direkten Astigmatismus haben, zeigen subjektiv entweder geringeren direkten oder gar keinen oder geringen inversen, je nach dem Grade des ophthalmometrischen Astigmatismus, dem Grade ihrer Dissymmetrie (s. u.), dem Pupillendurchmesser und der Decentration der Pupille. 3. Augen, die ophthalmometrisch inversen Astigmatismus haben, zeigen subjektiv meist höheren inversen Astigmatismus. 4. Augen, die ophthalmometrisch mäßigen oder starken direkten Astigmatismus haben, zeigen subjektiv stärkeren direkten Astigmatismus.

Javal stellte für die Beziehungen zwischen totalem und cornealem Astigmatismus folgende empirische Formel auf:

$$As_t = k - p.\ As_c$$

worin k eine Konstante (= 0,5 invers), As_c den cornealen, mit dem Ophthalmometer gemessenen Astigmatismus bedeutet und $p = 1,25$ zu setzen ist. Es scheint nach einigen Publikationen aus den letzten Jahren nicht ganz überflüssig, darauf hinzuweisen, dass diese Formel nicht entfernt allgemein gültig sein kann und es daher auch nicht angängig ist, lediglich mit deren Hilfe nach dem ophthalmometrisch gemessenen Astigmatismus die Brille zu bestimmen.)

Bei der Erklärung dieser Verschiedenheit zwischen dem ophthalmometrisch gemessenen und dem subjektiven Astigmatismus wird wohl in erster Linie daran zu denken sein, dass die beiden Linsenflächen von der sphärischen Form mehr oder weniger abweichen können (wenn auch genügende direkte Messungen hierüber nur spärlich vorliegen). Gullstrand meint, unter Hinweis auf die schon früher ausführlich besprochene größere Abflachung des vertikalen Hornhautmeridians gegenüber dem horizontalen bei unastigmatischem Hornhautscheitel, dass wahrscheinlich in solchen Fällen (auch die Linse entweder durch oblonge Form mit größtem vertikalem Durchmesser oder durch stärkere Abflachung im vertikalen Meridiane, vielleicht durch diese beiden Momente an der genannten Deformität teilnehme). Auch eine Wölbungsanomalie der hinteren Hornhautfläche kann einen, wenn auch im allgemeinen verhältnismäßig geringen Einfluss haben. Noch geringer dürfte der durch etwaige Schrägstellung der Linse bedingte Einfluss schon im Hinblicke auf deren Periskopie sein.

Sulzer weist zur Erklärung des Unterschiedes zwischen cornealem und totalem Astigmatismus darauf hin, dass bei der ophthalmometrischen Messung nur der Astigmatismus einer kleinen um die Gesichtslinie koncentrischen Hornhautzone ermittelt wird, während bei der subjektiven Bestimmung eine größere und mehr peripher gelegene Zone zur Geltung

kommt, die zudem wegen der meist etwas excentrischen Lage der Pupille nicht koncentrisch zur Gesichtslinie liegt. Die fraglichen Verschiedenheiten könnten, wie er meint, hieraus erklärt werden, insbesondere unter Berücksichtigung der zuerst von ihm gefundenen Thatsache, dass die peripheren Hornhautteile im vertikalen Meridiane eine größere Abflachung zeigen, als im horizontalen. Gegen die bezüglichen Messungen Sulzer's wie auch gegen den eben angeführten Erklärungsversuch erhob Gullstrand eine Reihe von Einwänden und zeigte durch Rechnung, dass der Einfluss der Pupillengröße auf die Lichtbrechung in der Hornhaut, soweit dieser durch die stärkere Abflachung des vertikalen Meridians bedingt sein sollte, nicht entfernt ausreicht, um die in der Regel gefundenen Differenzen zu erklären.

Für die höheren Grade von Astigmatismus könnte zur Erklärung einer Differenz zwischen dem cornealen und dem mit Gläsern bestimmten, totalen Astigmatismus noch in Betracht gezogen werden, dass (ähnlich wie bei den sphärischen Gläsern) das korrigierende Cylinderglas, da es nicht mit dem vorderen Hauptpunkte des Auges zusammenfällt, nicht genau dem Grade des cornealen Astigmatismus entspricht. Bei Anwendung von konkavcylindrischen Gläsern wird das korrigierende Glas stärker, bei konvexcylindrischen schwächer gefunden werden, als der ophthalmometrisch bestimmte Astigmatismus. Für die am häufigsten vorkommenden, mäßigen und mittleren Grade von Astigmatismus kann freilich diese Differenz, wie leicht ersichtlich, keine große Rolle spielen.

Endlich hat man zur Erklärung des fraglichen Unterschiedes auch die Annahme herangezogen, dass das Auge durch partielle Kontraktion des Ciliarmuskels imstande sei, einen Teil seines Hornhautastigmatismus auszugleichen. Eine derartige Annahme ist aber ganz unbewiesen und nach den bisher vorliegenden (zum Teile weiter unten angeführten) Thatsachen in hohem Maße unwahrscheinlich.

§ 171. Unter den subjektiven Methoden zur Bestimmung des Astigmatismus stellt die mit dem leuchtenden Punkte besondere Anforderungen an Aufmerksamkeit und Beobachtungsfähigkeit des Patienten. Wenn sie auch bei geeigneten Personen die genauesten Ergebnisse liefert, ist sie doch aus dem angeführten Grunde für praktische Bestimmungen im allgemeinen wenig geeignet. Die Untersuchung mittels der Strahlenfigur giebt nur in den regelmäßigsten Fällen von Astigmatismus verwertbare Resultate, kann aber bei Vorhandensein von Asymmetrie versagen. Für die Brillenverordnung bestimmend ist vor allem die Prüfung mit Leseproben; sie soll im allgemeinen nur nach vorausgegangener Ermittlung des Astigmatismus mit einer der objektiven Methoden vorgenommen werden. Maßgebend ist bei dieser Prüfung dasjenige Glas, das die beste Sehschärfe ergiebt und das im allgemeinen auch dann zu verordnen ist, wenn es von den ophthalmometrisch

oder auch von den skiaskopisch ermittelten Werten abweicht. In einer Reihe von Fällen (insbesondere bei den mit Asymmetrie komplizierten) korrigieren verschiedene Gläser den Astigmatismus angenähert gleich gut; es ist dann das schwächste Cylinderglas zu geben, mit dem die beste Sehschärfe erzielt wird.

§ 172. Wir haben früher gesehen, dass geringe Grade von Astigmatismus in den meisten normalen Augen gefunden werden und daher als physiologisch zu betrachten sind. Zwischen den physiologischen und den pathologischen Formen ist eine scharfe Grenze nicht zu ziehen. Von mancher Seite wird vorgeschlagen, einen bestimmten Grad von Astigmatismus als Grenzwert festzusetzen. So betrachtete DONDERS denselben als abnorm erst dann, wenn er 1 Dioptrie oder mehr betrug, denn er nahm an, dass geringere Grade die Sehschärfe nicht beeinträchtigten. Nun ist gewiss richtig, dass sehr viele Menschen mit einem Astigmatismus von 1 Dioptrie oder weniger bei Prüfung mit SNELLEN'schen Buchstaben Sehschärfe = 1 oder mehr und nicht das Bedürfnis nach Verbesserung ihres Sehens haben; dass der Astigmatismus aber in solchen Fällen oft auf die Sehschärfe von Einfluss ist, zeigt die Prüfung mit Cylindergläsern, durch welche die Sehfähigkeit zum Teile beträchtlich gehoben werden kann.

Von anderen wird der Astigmatismus nur dann als pathologisch angesehen, wenn er eine ausgesprochene Herabsetzung der Sehschärfe verursacht. Auch diese Einteilung kann praktisch nicht ganz befriedigen; eine Sehschärfe, welche dem einen noch völlig ausreichend erscheint, genügt für die Thätigkeit des anderen nicht mehr; während jener auf Verbesserung seines Sehens durch ein Cylinderglas gerne verzichtet, hat dieser durch die gleiche Korrektion wesentlichen Vorteil. Ferner können geringe Änderungen in der Pupillenweite von Einfluss sein: ein Astigmatismus, der bei heller Beleuchtung und dementsprechend enger Pupille keine merkliche Sehstörung bedingt, kann bei etwas weiterer Pupille unter Umständen schon eine störende Verminderung der Sehschärfe hervorrufen.

§ 173. In der großen Mehrzahl der Fälle liegt die Hauptursache des Astigmatismus in abnormer Wölbung der Hornhaut und zwar ihrer Vorderfläche. Wir können uns im folgenden um so mehr auf die Erörterung dieser Form beschränken, als über Astigmatismus aus anderen Ursachen nur sehr wenige sichere Thatsachen bekannt sind.

Dass Linsenastigmatismus vorkommt, wissen wir durch die bekannte Beobachtung von THOMAS YOUNG, der an seinem Auge auch nach Ausschaltung der Brechung an der Hornhaut durch Eintauchen derselben in Wasser noch einen inversen Astigmatismus von 1,7 D. fand. Ähnliche Messungen hat SCHIÖTZ angestellt und dabei einen inversen Astigmatismus von circa

0,75 D. gefunden. TSCHERNING berichtet über 3 Beobachtungen mit seinem Ophthalmophakometer an Augen, deren vordere Hornhautflächen einen direkten Astigmatismus von 2,36 D., bezw. einen inversen von 0,74 D. und von 0,22 D. gezeigt hatten. Hier bedingte die hintere Hornhautfläche zweimal einen Astigmatismus von 0,57 D., einmal einen solchen von 0,24 Dioptrien; in allen 3 Fällen war die Krümmung der hinteren Hornhautfläche im senkrechten Durchmesser stärker, als im wagerechten, daher der Astigmatismus invers. Die vordere Linsenfläche veranlasste in diesen 3 Fällen einen direkten Astigmatismus und zwar von 0,06 bezw. 1,09 und 0,7 Dioptrien, die hintere Linsenfläche einen inversen Astigmatismus von 0,11 bezw. 0,95 und 1,81 Dioptrien. AWERBACH fand (1900) bei 10 mit dem Ophthalmophakometer untersuchten Augen einmal gar keinen Astigmatismus der Linse, 5mal solchen nach der Regel, 4mal perversen (bis zu 2,1 Dioptrien); in 4 Fällen war er mit gleichzeitig bestehendem Hornhautastigmatismus gleich gerichtet, in 5 entgegengesetzt.

Vielfach hat man aus solchen klinischen Beobachtungen (ohne direkte Messungen), wo ein Unterschied zwischen der Größe des cornealen und des totalen Astigmatismus gefunden worden war, das Vorhandensein von Linsenastigmatismus gefolgert, der nach JAVAL, SCHIÖTZ, CHIBRET, DIMMER u. a. meist invers sein soll. PFALZ giebt an, dass der Procentsatz der Fälle von inversem Totalastigmatismus bei Fehlen von cornealem von 17,2 % in der 2. Lebensdekade auf 53,7 % in der 6. ansteige, dann aber wieder auf 32,6 % abfalle und glaubt, dass ein entsprechender inverser Linsenastigmatismus, der »im Alter die typische Wölbungsform der Linsenflächen« sei, bei der Entstehung dieser Formen eine Rolle spiele. (Dass hierbei auch eine Zunahme des inversen Hornhautastigmatismus mit dem Alter in Betracht kommen dürfte, scheint nach den Messungen von SCHÖN u. a. sicher gestellt.)

§ 174. Über diejenigen Formen des Astigmatismus, die durch abnorme Krümmung der vorderen Hornhautfläche bedingt sind, haben insbesondere seit der allgemeinen Anwendung des JAVAL'schen Ophthalmometers zahlreiche und ausgedehnte statistische Untersuchungen unsere Kenntnisse bereichert; ich erwähne unter vielen nur die Arbeiten von SULZER, PFLÜGER, STEIGER, SCHIÖTZ, CARHART, PFALZ, JACKSON, AHLSTRÖM, ANDOGSKY, DOLGANOFF.

Der Häufigkeit nach stehen hier jene Formen weit voran, bei welchen die Krümmung im senkrechten Hornhautmeridiane stärker ist, als im wagerechten (»direkter Astigmatismus«); wesentlich seltener sind die Formen mit stärkerer Krümmung im wagerechten Hornhautschnitte (»inverser« Astigmatismus); gleichfalls selten sind jene, wo die Meridiane stärkster bezw. schwächster Krümmung schräg stehen. Die physiologischen wie die pathologischen Hornhautkrümmungen sind nicht während des ganzen Lebens unveränderlich. SCHÖN hat zuerst (1887) auf die verhältnismäßig beträchtliche

Zunahme des inversen Astigmatismus im höheren Alter aufmerksam gemacht, eine Beobachtung, die später mehrfach durch statistische Untersuchungen bestätigt wurde. (Nach SCHÖN findet während des Lebens »eine Zunahme der Brechkraft der Augenmedien im horizontalen Meridiane statt, welche sich auf Hornhaut und Linse verteilt, in ersterer auf Krümmungszunahme, in letzterer wahrscheinlich auf Krümmungszunahme, vielleicht auch auf Schrägstellung zurückzuführen ist.«)

Einige Zahlen mögen das Gesagte erläutern: STEIGER fand in $^2/_3$ aller Augen einen Hornhautastigmatismus von 0,5 bis 1,0 Dioptrie, in fast $^7/_8$ der Fälle einen solchen von 0,25 bis 1,25 Dioptrien. Bei jugendlichen Augen war die Richtung schwächster Krümmung in 95,7 % wagerecht, oder, wenn Abweichungen von höchstens 10° von der Wagerechten zugelassen wurden, in 96,9 %; dagegen fand sich senkrechte Richtung der schwächsten Krümmung nur in 0,8 %, schiefe in 3,5 %, bezw. nur 2,3 %, wenn nur Fälle mit mehr als 10° Abweichung von vertikal oder horizontal berücksichtigt werden. Bis zum 70. Jahre nimmt die Häufigkeit des inversen Hornhautastigmatismus allmählich, danach rapid zu. Je hoher der Astigmatismus ist, um so häufiger finden sich Abweichungen von der wagerechten und senkrechten Richtung der Hauptmeridiane. In der Mehrzahl der Augen liegen die Achsen beiderseits symmetrisch (RISLEY und THORINGTON fanden sie z. B. 1307mal symmetrisch liegend, 458mal nicht symmetrisch). Mit zunehmendem Alter geht die Zahl der Augen mit direktem (totalem) Astigmatismus nach STEIGER von 95,7 % auf 63,9 % zurück, während der inverse von 0,8 bis zu 25 % zunimmt. Die Zahl der Fälle mit schräg gestellten Meridianen stärkster bezw. schwächster Krümmung wächst nach ihm von 3,5 auf 16,1 %. Dagegen konnte er die Angabe CARHART's, dass der Astigmatismus während der Schulzeit zunehme, nicht bestätigen. Auch die nebenstehende Tabelle nach PFALZ zeigt die verhältnismäßige Häufigkeit des inversen Astigmatismus im Alter (in dieser sind die Werte für den cornealen wie für den totalen inversen Astigmatismus in ihrem prozentualen Verhältnisse zu den übrigen Astigmatismusformen verzeichnet).

	≤ 10 J.	10-20 J.	20-30 J.	30-40 J.	40-50 J.	50-60 J.	> 60 J.
Astigmat. rectus	100	88,2	87,68	72,6	59,6	59,8	36,1
Astigmat. obliquus	0	0,9	1,16	2,7	1,1	2,4	2,6
Astigmat. invers. total.	0	10.9	11,16	24,7	39,3	38,8	61,3
Astigmat. invers. corneal.	0	9,0	8,7	16,4	19,8	18,2	50,6

Nach SCHÖN nimmt der Procentsatz der Augen mit inversem Astigmatismus von 11,6 % in der Jugend auf 68,3 % im Alter zu, während der direkte in der gleichen Zeit von 88,4 auf 31,4 % zurückgeht. Bei skiaskopischen Schuluntersuchungen von Kindern zwischen dem 6.—14. Lebensjahre fand ich inversen in kaum 1 % aller Fälle von Astigmatismus; der direkte Astigmatismus zeigte hier vom 6. bis zum 14. Jahre keine merkliche Abnahme. Bei ca. 10 bis 12 % aller Kinder war Totalastigmatismus von mehr als 1 Dioptrie nachzuweisen. NORDENSON fand bei Schülern 77 % direkten, 1,3 % inversen Astigmatismus, 12 % mit schrägen Achsen, bei 4,4 % fehlte Hornhautastigmatismus, 30 % hatten Astigmatismus von mindestens 1 Dioptrie, 1,7 % einen solchen von mehr als 1,5 Dioptrie. PFLÜGER findet den inversen Astigmatismus beim weiblichen Geschlechte etwas häufiger als beim männlichen (11 : 9), nach STEIGER

ist der Astigmatismus überhaupt bei Frauen etwas größer als bei Männern. Nach ersterem beträgt die Häufigkeit des cornealen, inversen Astigmatismus in der ersten Dekade = 5 %, in der 2. = 25 %, in der 5. = 30 %, in der 6. = 50 %, jenseits des 70. Jahres = 75 %. Für den direkten Astigmatismus fand er den Durchschnittsgrad fast in allen Lebensperioden = ca. 2,5 Dioptrien, nur im späten Alter steige er bis 2,8 Dioptrien.

Die Frage, ob bei den gewöhnlichen Formen des Astigmatismus mehr der wagerechte oder der senkrechte Hornhautschnitt sich von der Norm entferne, beantwortet Steiger dahin, dass einmal dieser, einmal jener der abnorm gekrümmte sei, doch erscheine im allgemeinen die horizontale Krümmung weniger variabel, als die vertikale.

In der großen Mehrzahl der Fälle findet man auf beiden Augen übereinstimmend wagerechte oder senkrechte Richtung für die schwächste Hornhautkrümmung. Bei beiderseitigem Astigmatismus mit schrägen Hauptmeridianen liegen, wie schon Snellen (1870) betonte, beide Meridiane meist (in 80 % nach Knapp, in 70 % nach Harlan) symmetrisch. Viel seltener findet man die Meridiane schwächster Krümmung im einen Auge wagerecht, im anderen schief, noch seltener im einen senkrecht und im anderen schief gerichtet. Der Einfluss erblicher Verhältnisse lässt sich hinsichtlich des Astigmatismus der Hornhaut deutlich nachweisen; er erstreckt sich sogar auf dessen Grad und die Richtung der Hauptmeridiane. In der großen Mehrzahl der Fälle beträgt der Unterschied der Brechkraft in beiden Meridianen weniger als 5—6 D. Höhere Grade von Astigmatismus ohne gleichzeitige anderweitige Anomalien (z. B. Keratoconus) sind selten. (Vereinzelt sind Fälle beschrieben, wo Cylindergläser von 10, ja von 20 Dioptrien dauernd getragen wurden [Schneidemann, Despagnet u. a.].) Die Fälle von hochgradigem Astigmatismus gehören meist der direkten Form an; der inverse ist, auch im höheren Alter, fast immer viel geringeren Grades.

Der Einfluss einer Zunahme des intraocularen Druckes auf die Hornhautwölbung ist mehrfach untersucht worden (Schelske, Laqueur, Eissen, Bajardi, Lucciola). Aus Versuchen von Eissen geht hervor, dass beim Kaninchen eine Drucksteigerung um 5—10 mm schon häufig, eine solche um 25 mm ausnahmslos Änderung der Hornhautwölbung zur Folge hat: Im allgemeinen wuchsen mit zunehmendem Drucke alle Hornhautradien: bei allmählicher Drucksteigerung nahm vorhandener Astigmatismus zunächst vorübergehend zu, weiterhin allmählich ab; normaler Astigmatismus kann beim Wachsen des Augendruckes invers werden. Auch an menschlichen glaucomatösen Augen findet man auffallend häufig inversen Astigmatismus (Schön, Pfalz, Martin).

Über die Ursachen, die zu den vorher besprochenen physiologischen Änderungen des Hornhautastigmatismus mit zunehmendem Alter führen, fehlen uns fast alle thatsächlichen Kenntnisse. Eissen glaubt das Auftreten des inversen Hornhautastigmatismus im höheren Alter mit den ebenerwähnten

Verhältnissen in Zusammenhang bringen zu können; Schön nimmt einen Einfluss partieller Ciliarmuskelkontraktionen auf die Form der Hornhaut an. (Die Annahme, dass Ciliarmuskelkontraktion überhaupt [d. h. unabhängig von Astigmatismus] die Hornhautwölbung beeinflussen könne, hat vermutungsweise schon v. Reuss (1877) ausgesprochen, als er nach starker Eserinierung des Auges eine Abnahme des Hornhautradius um 0,04 bis 0,14 mm fand.) Carhart meint, dass durch Akkommodationsanstrengung in einem gesunden oder bei physiologischem Gebrauche in einem durch lokale oder konstitutionelle Erkrankungen geschwächten Auge eine Dehnung des Bulbus herbeigeführt werden könne, die sich sowohl in Verlängerung der Augenachse, als auch in Änderung der Hornhautkrümmung zeige; Steiger bekämpft, wie mir scheint, mit Recht diese Anschauung unter anderem durch den Hinweis darauf, dass gerade im jugendlichen Alter der Hornhautastigmatismus wenig oder nicht variiert. Gullstrand findet, dass bei »Myopie ausgeprägte pathologische Hornhautformen vorkommen, die sonst nicht ohne krankhafte Symptome sind«; auch er meint, dass wohl manche derselben sekundär bei der Dehnung des Bulbus entstehen können.)

§ 175. Es wurde oben erwähnt, dass man vielfach die so oft beobachtete Differenz zwischen dem cornealen und dem totalen Astigmatismus auf partielle Kontraktionen des Ciliarmuskels zurückzuführen versucht hat. Eine Stütze für diese Annahme sah man u. a. in der Thatsache, dass mit Änderung der Pupillenweite häufig der Grad des subjektiv oder skiaskopisch bestimmten Astigmatismus sich ändert. Insbesondere auffällig sind solche Änderungen bei starker Pupillenerweiterung durch Atropin, wo es nahe lag, eine gleichzeitig beobachtete Zunahme des Totalastigmatismus auf Lähmung des Ciliarmuskels zu beziehen. Dem gegenüber sind aber die Fälle nicht ganz selten, wo nach Atropinisierung die Refraktion in einem Hauptmeridiane höher gefunden wird, als vorher, was natürlich nicht durch die Annahme einer partiellen Ciliarmuskelkontraktion erklärt werden kann. Der Nachweis des Vorkommens einer solchen wäre nicht nur für unsere Brillenverordnung, sondern auch aus anderen therapeutischen Gründen von großer Bedeutung, da man eine Reihe von ernsteren Krankheiten mit solchen angeblichen partiellen Ciliarmuskelkontraktionen in Zusammenhang gebracht hat, unter anderem die sogen. skrophulöse Keratitis, Blepharitis, Conjunctivitis, »Keratitis«, perversen Hornhautastigmatismus, Myopie, Staphylom des Sehnerven, Glaucom, Katarakt. Es erscheint daher nötig, etwas näher auf die Frage einzugehen, ob wir imstande sind, im Interesse des deutlichen Sehens einzelne Abschnitte unseres Ciliarmuskels isoliert zu innervieren und zur Kontraktion zu bringen.

Der Gedanke, dass Hornhautastigmatismus durch partielle Kontraktion des Ciliarmuskels mehr oder weniger vollständig ausgeglichen werden könnte, ist

zuerst von GIRAUD-TEULON ausgesprochen worden. DOBROWOLSKY war der erste, der durch klinische Beobachtungen und Versuche mit Cylindergläsern an seinen eigenen Augen thatsächliche Beweise für die Richtigkeit dieser Hypothese zu erbringen versuchte. WOINOW erhielt ähnliche Resultate, ist aber bezüglich der Deutung derselben viel vorsichtiger als jener: Nach DOBROWOLSKY entsteht der kompensierende Linsenastigmatismus durch eine zweckmäßige Thätigkeit des Ciliarmuskels, die von uns im Interesse des deutlichen Sehens aufgebracht wird. WOINOW dagegen schließt aus Versuchen, die er mit dem CZERMAK'schen Orthoskope anstellte, dass jene partielle Kontraktion selbständig, unabhängig von unserem Willen auftrete, wenn das Auge schon einigermaßen ermüdet sei.

Die späteren Forscher stimmen mit wenigen Ausnahmen darin überein, dass sie das Vorkommen partieller Kontraktion des Ciliarmuskels als bewiesene Thatsache ansehen. Aber sowohl über den Grad derselben wie über die Art der Wirkung gehen die Ansichten weit auseinander. Während der eine partielle Kontraktionen bis zu 3,0 Dioptrien für möglich hält, findet der andere unter ähnlichen Bedingungen nur einen Ausgleich bis zu kaum 1,0 Dioptrie; ein dritter nimmt an, dass beim Versuche, das astigmatische Sehen zu bessern, der Ciliarmuskel »über das Ziel hinausschieße« und den Hornhautastigmatismus überkompensieren könne. Die partielle Kontraktion soll nach Einigen (PFLÜGER und MAUTHNER) wie beim Hypermetropen im Momente der Fixation eintreten und sich im Dunkeln abspannen; nach SCHÖN soll sie erst ganz allmählich im Laufe der Zeit sich entwickeln und merklichen Einfluss auf die Krümmungsverhältnisse der Hornhaut haben können. Der eine glaubt, 1,0 Dioptrie Astigmatismus werde »spielend« durch partielle Ciliarmuskelkontraktion überwunden, ein anderer giebt an, dass schon das Aufbringen viel geringerer Grade auch bei jugendlichen Personen mit genügender Akkommodationsbreite große Beschwerden verursachen könne.

Gegenüber diesen Angaben vertritt BULL die Ansicht, dass durch die Arbeiten von DOBROWOLSKY, MARTIN u. a. das Vorkommen partieller Ciliarmuskelkontraktion nicht erwiesen sei; ebenso zweifeln SULZER, TSCHERNING, ERIKSEN u. a. an dem Vorkommen einer solchen.

Von den Fehlerquellen, die bei den zum Nachweise partieller Ciliarmuskelkontraktionen angestellten Versuchen nicht oder nicht genügend berücksichtigt worden sind, mögen einige der wichtigeren kurz angeführt werden: Einmal nimmt man vielfach zur Untersuchung nicht genügend feine Objekte; je gröber das Objekt ist, desto größer kann der dioptrische Fehler sein, bei welchem es noch nicht merklich unscharf erscheint. Für genauere Bestimmungen ist es unerläßlich, jedesmal den dioptrischen Fehler zu ermitteln, bei welchem die Sehobjekte eben noch scharf gesehen werden. Ferner hat man zuweilen, wenn man etwa verschieden gerichtete Linien auf ihre Deutlichkeit miteinander vergleichen wollte, nicht mit fixierter Blickrichtung, sondern so beobachtet, dass das Auge über das Sehobjekt wanderte. Dabei ist aber die Möglichkeit einer Akkommodationsänderung nicht ausgeschlossen, sodass wohl der jeweils fixierte Strahl, aber jedesmal nur er allein in größter Deutlichkeit gesehen wird. Weiter wurde vielfach z. B. beim Betrachten der verschieden gerichteten Linien einer Strahlenfigur

partielle Kontraktion des Ciliarmuskels für bewiesen erachtet, wenn es gelang, die verschiedenen Strahlen in gleicher Deutlichkeit zu sehen. Dies ist aber nicht beweisend, denn in vielen Fällen von Astigmatismus können bei Einstellung des Auges ohne partielle Kontraktion z. B. auf eine Stelle des Strahlenbündels, die ungefähr in der Mitte zwischen den beiden dünnsten Querschnitten liegt (etwa entsprechend der Stelle des »Brennkreises« im Sturm'schen Conoide) alle Radien gleich deutlich erscheinen (wobei sie aber nicht in voller Schärfe gesehen werden). Bei den unregelmäßigeren Fällen von Astigmatismus, insbesondere bei den der dritten Form angehörigen, kann an verschiedenen Stellen des Strahlenbündels die Möglichkeit gegeben sein, dass von den Radien der Strahlenfigur keiner merklich deutlicher erscheint, als die anderen. Ferner wurde nicht immer genügend darauf geachtet, dass durch Verengerung der Lidspalte die Zerstreuungsfiguren bei den meisten Formen von Astigmatismus wesentlich verringert werden können.

Der Einfluss der Lidspaltenverengerung lässt sich z. B. in folgender Weise veranschaulichen: Ein photographischer Apparat wird durch Vorsetzen eines schwachen Cylinderglases astigmatisch gemacht. Als Objekt dienen feine, koncentrische, schwarze und weiße Kreise. Ist in dem Apparate eine weite kreisförmige Blende eingesetzt, so sieht man auf der Mattscheibe an dem Bilde der Kreise nur zwei schmale Sektoren deutlich, alle übrigen Kreisteile verwaschen. Wird nun die Verengerung der Lidspalte nachgeahmt durch Einsetzen einer spaltförmigen Blende von ca. 2 mm Breite, derart, dass der Längsdurchmesser der Blende ungefähr der Achse des vorgesetzten Cylinderglases entspricht, so erscheinen jetzt die Kreise in allen ihren Teilen angenähert gleich deutlich.

Übrigens ist darauf hinzuweisen, dass das Zusammenkneifen der Lider noch auf andere Weise, als durch Verkleinerung der Zerstreuungskreise zur Besserung des Sehens beitragen kann, indem es unter Umständen (wie in der letzten Zeit Botwinnik zeigte) auch eine Veränderung der Hornhautwölbung zur Folge hat; eine solche ist ophthalmometrisch in der Nähe der zusammengekniffenen Lider u. a. von Bull und von Gullstrand nachgewiesen worden. Dass durch derartiges oft wiederholtes Kneifen dauernd Astigmatismus hervorgerufen werden könne (z. B. bei Leuten, die zum Mikroskopieren oder Ablesen von Messungen öfter ein Auge zukneifen), wie in der Litteratur hier und da angegeben wird, ist wenig wahrscheinlich.) Auch ein Anspannen der Lider mit dem Finger nach außen kann beträchtliche Änderung der Hornhautwölbung zur Folge haben, wie Laqueur (1884) und Weiss (1886) ophthalmometrisch nachgewiesen haben.

Berücksichtigt man die vorerwähnten Fehlerquellen bei den fraglichen Messungen, wie insbesondere auch den Umstand, dass der Astigmatische,

soweit es seine Akkommodation gestattet, nicht auf einen dünnsten Querschnitt einstellen muss, sondern im allgemeinen, wenn möglich, auf eine solche Stelle des Strahlenbündels einstellen wird, die einem angenähert kreisförmigen Querschnitte des Bündels entspricht (weil diese ihm die verhältnismäßig günstigsten Bedingungen z. B. für das Erkennen von Buchstaben bietet), so ist nach den bisher vorliegenden Beobachtungen und Messungen das Vorkommen partieller Ciliarmuskelkontraktion nicht einmal wahrscheinlich, geschweige bewiesen.

Um zu ermitteln, innerhalb welcher Grenzen Astigmatische etwa imstande seien, durch partielle Ciliarmuskelkontraktion die beiden in verschiedenen variablen Abständen vom Auge befindlichen Schenkel eines rechtwinkligen Kreuzes gleichzeitig deutlich zu sehen, habe ich Versuche in folgender Weise angestellt: Der Beobachter fixierte (unocular) zwei feinste sich rechtwinklig kreuzende Kokonfäden, die in der Richtung der Hauptmeridiane des untersuchten Auges aufgespannt waren und von welchen jeder für sich dem Auge genähert oder von ihm entfernt werden konnte. Bei geeignetem Abstande der Fäden vom Auge sah der Beobachter ein feinstes scheinbar in einer Ebene liegendes Fadenkreuz auf gleichmäßig hellem Grunde. Durch Veränderung des Abstandes der Fäden voneinander konnte die Deutlichkeit, in welcher ein jeder der beiden Schenkel des Kreuzes gesehen wurde, beliebig, bis zum völligen Verschwinden des einen oder anderen Schenkels variiert werden. Es wurde nun bei Astigmatischen und bei künstlich astigmatisch gemachten Emmetropischen ermittelt, innerhalb welcher Grenzen bei Verschiebung des einen Fadens gegen den anderen beide gleichzeitig deutlich gesehen werden konnten. Aus den Ergebnissen lässt sich ein Schluss darauf ziehen, inwieweit es etwa möglich ist, zum Zwecke des deutlichen Sehens eine partielle Ciliarmuskelkontraktion aufzubringen, derart, dass die durch sie bedingte astigmatische Linsenwölbung den vorhandenen Hornhautastigmatismus aufhebt. Mit dieser Methode ließ sich bei keiner der von mir untersuchten Personen eine merkliche partielle Ciliarmuskelkontraktion nachweisen, trotzdem günstige Versuchsbedingungen zur Entwicklung einer solchen gegeben waren.

Wir werden nach dem Gesagten bei der Brillenbestimmung die Möglichkeit partieller Ciliarmuskelkontraktionen, die ja auch aus allgemein physiologischen Gründen sehr wenig Wahrscheinlichkeit für sich hat, nicht weiter in Rechnung ziehen.

§ 176. Die Störungen, die eine Brillenverordnung bei Astigmatismus wünschenswerth machen, sind in erster Linie die Herabsetzung der Sehschärfe, dann auch asthenopische Beschwerden bei hypermetropischen sowie bei jenen Astigmatikern, welchen Pupillenverengerung einen wesentlichen Vorteil für das Sehen bietet und daher Anlass zu stärkeren Akkommodationsanstrengungen geben kann.

Von anderweitigen, mit manchen Formen von Astigmatismus anscheinend zusammenhangenden Störungen erwähne ich Neigung zu chronischer Blepharitis.

die wir besonders häufig bei hypermetropischem Astigmatismus finden. Auf diese seit längerer Zeit bekannte Erscheinung ist in den letzten Jahren wieder von verschiedenen Seiten aufmerksam gemacht worden (Schön, Winselmann, Hotz, Warschawsky, Roosa).

Man hat wiederholt versucht, auch die Entstehung des grauen Stares in ursächlichen Zusammenhang mit Astigmatismus (insbesondere auch mit partiellen Ciliarmuskelkontraktionen) zu bringen. So nehmen Schön, Javal, Roure, Vacher eine mehr oder weniger innige Beziehung zwischen Astigmatismus und Starbildung an; nach Javal, Roure u. a. soll der Star bei Augen mit beiderseits ungleichem Astigmatismus an dem stärker astigmatischen früher auftreten und fortschreiten als am anderen. Ich selbst habe mich von einem Einflusse des Astigmatismus auf die Starbildung bisher nicht überzeugen können. Insbesondere kann ich auch Schön's Angabe nicht bestätigen, dass der Äquatorialstar im wagerechten Meridian beginne, was er mit einer stärkeren Zugwirkung der in diesem Meridian liegenden Zonulafasern in Zusammenhang bringt.

§ 177. Zur Korrektion des Astigmatismus dienen uns in erster Linie die Cylindergläser; in einer Reihe von Fällen kann man auch durch Schrägstellung sphärischer Gläser oder durch Vorsetzen spaltförmiger Blenden Besserung des Sehens herbeiführen.

Jackson u. a. haben Tabellen für den durch verschiedene Grade von Schrägstellung unendlich dünner Linsen bedingten Astigmatismus gegeben. (Mit der Schrägstellung nimmt zugleich auch die sphärische Wirkung des Glases zu; siehe nebenstehende Tabelle von Jackson für eine Linse von 1 Dioptr.)

Bei Drehung um:	ist die Wirkung einer Linse von + 1,0 D. sphärisch =	
0°	+ 1,0 D. sph.	0 D. cylindrisch.
5°	+ 1,00	+ 0,01
10°	+ 1,01	+ 0,03
15°	+ 1,02	+ 0,07
20°	+ 1,04	+ 0,14
25°	+ 1,065	+ 0,23
30°	+ 1,09	+ 0,36
35°	+ 1,13	+ 0,55
40°	+ 1,17	+ 0,83
45°	+ 1,22	+ 1,22
50°	+ 1,28	+ 1,82

Die Wirkung eines Glases von n Dioptrien erhält man durch Multiplikation der Zahlen der Tabelle mit n. Ein Konvexglas von 10 Dioptrien

z. B., um 40° um seine Achse geneigt, wirkt in einem Meridiane wie ein Glas von + 11,7 Dioptrien, im anderen wie ein solches von + 20 Dioptrien, die cylindrische Wirkung entspricht also einem Werte von 8,3 Dioptrien. Der entstehende Astigmatismus ist bei schrägem Durchtritt der Strahlen durch das Centrum der Linse von der zweiten Form: Es existiert im allgemeinen ein erster, zur Achse senkrechter dünnster Querschnitt und eine zweite Brennlinie, die mit der Achse einen spitzen Winkel bildet.)

Dass ein passend vor das astigmatische Auge gehaltener stenopäischer Spalt die Sehschärfe oft wesentlich erhöht, ist bekannt und leicht erklärlich. Je schmäler der Spalt, desto mehr nähert sich im allgemeinen das Sehen jenem bei sphärischer Hornhaut; einer allgemeineren Anwendung derartiger Brillen steht vor allem die starke Einschränkung des Gesichtsfeldes störend im Wege. Für besondere Fälle, hauptsächlich solche mit weit vom regelmäßigen Typus abweichendem Astigmatismus (z. B. Keratoconus), wo die Korrektion durch Cylindergläser keine brauchbare Sehschärfe giebt, können indes derartige »Spaltbrillen« von großem Vorteile sein, z. B. in der von Snellen angegebenen Form, wo beim Lesen durch Zunahme der Breite des (horizontal gerichteten) Spaltes nach der Seite hin der Überblick über die betreffende Zeile erleichtert und doch infolge der geringeren Breite der mittleren Spaltteile die Zerstreuungskreise genügend verkleinert werden.

§ 178. In der großen Mehrzahl der Fälle bedienen wir uns zur Verbesserung des Sehens bei Astigmatismus der cylindrisch geschliffenen Gläser, die zuerst von Airy (1827) benutzt wurden, aber erst durch Donders (1862) allgemeiner in Gebrauch kamen. Die Gläser werden entweder allein (bei einfach hypermetropischem, bezw. myopischem Astigmatismus) oder in Verbindung mit sphärischen Gläsern benutzt; diese Kombinationen werden in der Regel derart hergestellt, dass auf der einen Fläche des Glases die erforderliche sphärische Wölbung aufgeschliffen wird, auf der anderen die cylindrische: in den letzten Jahren hat man sie vielfach mit Erfolg durch torische ersetzt (s. § 66).

Bicylindrische Gläser werden verhältnismäßig wenig benutzt, da ihre Wirkung im allgemeinen auch durch Kombination sphärischer mit cylindrischen erreicht werden kann. Doch soll in manchen Fällen durch bicylindrische Gläser besseres Sehen erreicht werden, als durch sphärocylindrische (Knapp). Auch die Kombinationen zweier Cylindergläser mit schräg zu einander gestellten Achsen können im allgemeinen durch sphärocylindrische Gläser ersetzt werden; bei Korrektion eines »bioblíquen« Astigmatismus will indes Roure in einigen Fällen die Beschwerden nur durch bicylindrische Gläser haben beseitigen können. Auch Sulzer empfiehlt für gewisse Fälle die gekreuzten Cylinder (vgl. § 63).

Wir haben gesehen, dass die verschiedenen Methoden der Bestimmung des Astigmatismus oft merklich verschiedene Ergebnisse liefern; bei der

Brillenverordnung sollen im allgemeinen die mit der subjektiven Methode der Sehschärfenbestimmung erhaltenen Werte maßgebend sein sowohl für die Stärke der Cylindergläser als für die Richtung ihrer Achsen. Darum sind aber die anderen Methoden keineswegs überflüssig: einmal erhalten wir durch sie wertvolle Aufschlüsse darüber, mit welchen Gläsern die Untersuchung zunächst zu beginnen hat, wenn man nicht planlos herumtappen will, (durch die Skiaskopie auch über die Gesamtrefraktion des Auges); dann aber können uns etwaige größere Differenzen zwischen ophthalmometrisch gefundenem und subjektivem Astigmatismus auf wichtige Anomalien der Hornhautwölbung (z. B. Asymmetrien) hinweisen.

Wir gehen danach bei der Brillenbestimmung für Astigmatiker so vor, dass wir zunächst skiaskopisch und ophthalmometrisch den Grad des Astigmatismus und die Richtung seiner Hauptmeridiane ermitteln, danach die entsprechende Korrektion vorsetzen und nun durch Variieren der Gläser von diesem Ausgangspunkte aus das Glas, bezw. die Kombination aufsuchen, die die beste Sehschärfe giebt. Findet man mit Cylindergläsern von verschiedener Stärke gleich gute Sehschärfe, was bei den nicht ganz einfachen Formen von Astigmatismus nicht selten der Fall ist, so ist im allgemeinen das schwächste Cylinderglas zu geben, mit dem die beste Sehschärfe erzielt wird.

Keineswegs in allen Fällen von Astigmatismus (insbesondere den der dritten Form angehörigen) wird trotz normalem Augenspiegelbefunde durch die cylindrische Korrektion volle oder auch nur annähernd volle Sehschärfe erhalten, auch wenn man von den mit höheren Graden von Hypermetropie oder Myopie komplizierten Formen absieht. Man hat in solchen Fällen früher viel von einer verminderten Leistungsfähigkeit der Netzhaut »Amblyopie bei Astigmatismus« gesprochen. Die richtigere Erklärung für die trotz der Korrektion unvollständige Sehschärfe ist aber wohl darin zu suchen, dass durch das Cylinderglas das im Auge gebrochene astigmatische Strahlenbündel in allen solchen Fällen nicht in ein »homocentrisches« verwandelt werden kann, vielmehr die Eigenschaften der »anastigmatischen« Bündel (s. § 17) hat: auch bei der schärfsten Abbildung eines Punktes entsteht eine mehr oder weniger große Zerstreuungsfläche. In der großen Mehrzahl der Fälle von inversem Astigmatismus erzielt man durch die Cylinderkorrektion wesentlich bessere Sehschärfe, als bei entsprechenden Graden von direktem. Sehr häufig findet man hier nach der Korrektion $S = 1$ oder > 1.

Bei der Untersuchung mit Cylindergläsern ist darauf zu achten, dass die Fläche des Glases senkrecht zur Gesichtslinie stehe; denn bei Neigung des Cylinderglases um seine Achse ändert sich auch seine cylindrische Wirkung; in welchem Umfange dies geschieht, zeigt die nebenstehende Tabelle.

Bei einem Neigungswinkel von	wirkt ein Cylinderglas von 1,0 Dioptrie wie ein solches von
5°	1,010 Dioptrie
10°	1,041 „
15°	1,096 „
20°	1,178 „
25°	1,296 „
30°	1,459 „
35°	1,684 „
40°	2,000 „
45°	2,448 „
50°	3,110 „

Wegen der häufig vorkommenden Änderung des Astigmatismus mit der Pupillenweite ist die Sehprüfung unter solchen Bedingungen vorzunehmen, bei welchen die Pupille etwa den der gewöhnlichen mittleren Beleuchtung entsprechenden Durchmesser hat. Ganz unrichtig ist es, das Auge zu atropinisieren und die Gläser, wie es wohl noch geschieht, nach den unter so abnormen Bedingungen ermittelten Werten zu verordnen. Andererseits kann auch die Untersuchung in ungewöhnlich hellen Räumen und bei entsprechend enger Pupille zu Ergebnissen führen, die den Verhältnissen bei mittelweiter Pupille nicht genügend entsprechen. In einer Reihe von Fällen (die zum Teile unten ausführlicher besprochen werden) kann die mit stärkerer Akkommodation verknüpfte Pupillenverengerung die Sehschärfe so günstig beeinflussen, dass leicht durch die Bevorzugung stärkerer Konkavgläser Myopie (bezw. zu hohe Myopie) vorgetäuscht wird. Ferner kann der Einfluss der Pupillenweite auf den Grad des Totalastigmatismus auch bedingen, dass nicht die gleichen Gläser beim Nahesehen und beim Fernsehen die besten sind, was ja in der That zuweilen beobachtet wird (selbstverständlich abgesehen von den durch Presbyopie bedingten Differenzen).

Bei der Nahearbeit wird im allgemeinen mehr oder weniger schräg durch die Brillengläser gesehen, so z. B. bei einem Objektabstande von 20 bezw. 15 cm unter einem Winkel von 8—9° bezw. von 10—12°; der hierdurch bedingte Astigmatismus könnte unter Umständen schon einen störenden Einfluss haben. Dass zuweilen nicht die gleichen korrigierenden Cylindergläser für das Nahe- und Fernsehen die besten sind, kann neben dem Einflusse der verschiedenen Pupillenweite bei hohen Graden von Astigmatismus wohl auch hierdurch mit bedingt sein.

§ 179. Die letzten Jahre haben einige Versuche zu operativer Beseitigung des Astigmatismus gebracht, welche wesentlich angeregt wurden durch die Erfahrungen über den Wundastigmatismus nach Staroperationen. Lans setzte bei Kaninchen mittels Galvanokauters zwei nicht perforierende Hornhautwunden 2 mm nach innen vom Limbus, zu diesem parallel an

zwei einander entgegengesetzten Seiten eines Meridians in einer Ausdehnung von ca. 1/4 des Umkreises und einer Tiefe von ca. 2/3 der Hornhautdicke. Er erhielt so einen bleibenden Astigmatismus von 3—6 Dioptrien in dem Sinne, dass die Richtung stärkster Krümmung der Wundrichtung parallel stand. Dabei kann sowohl der Radius in dem zur Wundrichtung parallelen Meridian abnehmen, als der des hierauf senkrechten Meridians zunehmen. Die Unmöglichkeit einer Dosierung verbietet die Anwendung dieses Verfahrens bei durch Cylindergläser korrigierbarem Astigmatismus. Die Versuche Reymond's und seiner Schüler (Baiardi, Bocci, Lucciola), sowie von Faber, Borsch u. a. über Astigmatismus nach perforierenden oder nicht perforierenden Einschnitten am Limbus corneae mit feinen Lanzenmessern und nach subconjunctivalen Skarifikationen der Sclera (Reymond) ergaben, dass damit, ähnlich wie nach der Starextraktion, nur in geringerem Grade, Astigmatismus erzeugt werden kann, der sich mit der Narbenbildung in wechselndem Maße ändert, sodass eine genügende Dosierung auch hier noch nicht möglich ist. Pflüger versuchte (1896) mit einem Hebel an den dem Limbus nahegelegenen Hornhautteilen eine Furche auszuschneiden; wegen der langsamen Heilung kam er indes von dieser Methode zurück; bei anderen Versuchen eröffnete er die vordere Kammer mit der Lanze. Bates konnte (1895) mit oberflächlichen Einschnitten in die Hornhaut keine ophthalmometrisch nachweisbare Änderung des Astigmatismus erreichen, fand aber Besserung der Sehschärfe. Ferner hat Ad. Weber (1899) zur Korrektion von Astigmatismus mit seiner Hohllanze im Limbus eingeschnitten, ohne befriedigende Ergebnisse zu erzielen: In einzelnen Fällen trat unregelmäßiger Astigmatismus auf, in anderen wurde der bestehende gar nicht geändert.

Bei Starextraktionen und Iridektomien wird man zweckmäßig auf etwa vorhandenen Hornhautastigmatismus achten und den Schnitt thunlichst parallel zur Richtung der schwächsten Hornhautkrümmung führen (worauf Snellen und Pflüger zuerst hingewiesen haben). Man kann dadurch in der That häufig eine Verminderung des vorher vorhandenen oder doch einen geringeren Grad von Wundastigmatismus erhalten, als sonst unter den gegebenen Verhältnissen zu erwarten wäre.

§ 180. In den vorhergehenden Paragraphen war ausschließlich von den angeborenen Formen des Astigmatismus die Rede. Wir wenden uns nun zu jenen Formen, die nach Operationen am Auge, insbesondere nach der Starextraktion, in geringerem Umfange auch nach der Iridektomie beobachtet werden.

Donders beschrieb zuerst (1864) das Auftreten dieses Wundastigmatismus nach der Staroperation, der bei Extraktion nach oben oder unten in der weitaus größten Zahl der Fälle (wie zuerst Haase zeigte) invers

und meist regelmäßig genug ist, um eine befriedigende Besserung des Sehens durch Cylindergläser zu gestatten. Der Grad dieses Astigmatismus kann selbst bei normaler Wundheilung 6 Dioptrien und mehr betragen. Ist die Wundheilung durch Einlagerung fremder Gebilde in die Wundränder (z. B. Irisvorfall) kompliziert, so erreicht er zuweilen noch viel höhere Werte und ist dann meist weniger regelmäßig als bei glatter Wundheilung. Die Extraktionsmethode (mit oder ohne Iridektomie) scheint für den Grad des Astigmatismus nicht von großer Bedeutung zu sein; vielleicht ist er bei Extraktion ohne Iridektomie im Durchschnitte etwas kleiner. Von wesentlichem Einflusse ist Größe und Lage des Schnittes: je näher den mittleren Hornhautteilen und je größer der Schnitt ist, um so höher ist im allgemeinen der Astigmatismus.

Die ersten genaueren ophthalmometrischen Messungen bei Wundastigmatismus stammen von v. Reuss und Woinow (1869), spätere von Mauthner u. a. Durch sie wurde festgestellt, dass dabei meist der wagerechte Hornhautmeridian eine Krümmungszunahme, der senkrechte eine Krümmungsabnahme erfährt. Seit Einführung der klinischen Ophthalmometrie mit dem Javal-Schiötz'schen Apparate wurden zahlreichere Messungen u. a. von Dolganoff, Pfingst, Scimemi und von Treutler (1900) vorgenommen; letzterer gab eine sorgfältige kritische Sichtung des bis dahin vorliegenden Beobachtungsmaterials. Aus einer Zusammenstellung über 49 Augen, an welchen vor und nach der Extraktion die Hornhaut ophthalmometrisch untersucht worden war, ergab sich, dass in allen Fällen die Hornhautkrümmung sich geändert hatte und zwar war die des senkrechten Meridians vermindert in 88 %, unverändert in 2 %, vergrößert in 10 % der Fälle; die Krümmung des wagerechten Meridians war vergrößert in 88 %, unverändert in 2 %, verkleinert in 10 % der Fälle. In der Regel erfahren also beide Meridiane durch die Operation eine Krümmungsänderung. Die stärkste Krümmungsabnahme im senkrechten Meridiane entsprach in einem von Treutler gemessenen Falle einer Vergrößerung um 1,5 mm, die stärkste Krümmungszunahme im wagerechten einer Verkleinerung des Radius um mehr als 1,8 mm. (Pflüger fand nach Eröffnung der vorderen Kammer mittels Lanze [zum Teile bei Myopieoperationen] in 20 % der Fälle Abflachung, in mehr als 25 % Zunahme der Krümmung in beiden Meridianen.) Die Durchschnittswerte für die Änderung des Radius betrugen:

	für den senkrechten Meridian	für den wagerechten Meridian
nach v. Reuss	+ 0,3 mm	— 0,27 mm
Weiss	+ 0,45	+ 0,02
Dolganoff	+ 0,44 »	— 0,47
Treutler	+ 0,7	> — 1,1 »

Die verhältnismäßig großen Werte Treutler's erklären sich daraus, dass dieser seine Messungen 7 Tage nach der Extraktion vornahm, jene aber erst nach 13, bezw. 14 und 16 Tagen: Der Wundastigmatismus ist kurz nach der Operation am größten und nimmt in der ersten Zeit sehr rasch, später langsamer ab, schwindet aber in der Regel nicht vollständig. In den meisten Fällen bleibt eine Abnahme der Krümmung im senkrechten und eine meist ausgesprochenere Zunahme der Krümmung im wagerechten Meridian dauernd bestehen. Die Rückbildung zeigt sich bald gleichmäßig in beiden Meridianen, bald im senkrechten mehr als im wagerechten: dabei tritt (Schulze und Treutler) nicht nur im Grade, sondern auch in der Richtung der Hauptmeridiane eine Änderung ein, indem häufig schräg gestellte Achsen sich mehr senkrecht, bezw. wagerecht stellen.

Wann dieser Astigmatismus als stabil angesehen werden kann, lässt sich nicht genügend genau bestimmen, obschon es für unsere Brillenverordnung von Interesse wäre. Die öfter zu lesende Angabe, dass er schon nach 4—6 Wochen sich nicht mehr merklich ändere, hat jedenfalls keine allgemeine Giltigkeit: Treutler konnte in einem Falle noch nach 4 Monaten eine Refraktionsänderung feststellen. Für die endgiltigen Verhältnisse fand Dolganoff im wagerechten Meridiane in 18 Fällen eine durchschnittliche Krümmungszunahme = 2,2 Dioptrien (nur in 2 Fällen eine Abflachung um 0,25—0,5 Dioptrien); im vertikalen Meridian war in 3 Fällen die Krümmung unverändert, in 4 um 0,25—1,25 Dioptrien vermehrt, in 13 um durchschnittlich 1,7 Dioptrien vermindert.

Diese Messungen über die Krümmungsänderung der Hornhaut nach der Staroperation bestätigen eine von mir geäußerte Ansicht über die Entstehung der streifenförmigen Hornhauttrübung nach der Extraktion. Während man diese früher als Entzündungserscheinung gedeutet hatte, führte ich sie auf die Bildung vertikaler Falten in den tiefsten Hornhautschichten zurück, die dadurch entstehen, dass die Differenz zwischen der Spannung der Hornhaut im senkrechten und jener im wagerechten Meridiane nach Eröffnung des Augapfels (oben oder unten) so wirkt, als würde die Hornhaut von den Seiten her zusammengedrückt. Die angeführten Messungen zeigen, dass etwas derartiges wirklich statthat.

Neben den erwähnten operativen Eingriffen kommen andere Ursachen für die Entstehung dieses angenähert regulären Astigmatismus nur in verschwindender Zahl in Betracht. So können Verletzungen oder Geschwüre gelegentlich durch Narbenschrumpfung einen ziemlich regelmäßigen Astigmatismus herbeiführen. Hirschberg, Dufour und Evers haben nach Episcleritis bezw. nach Keratitis sclerotricans regulären Astigmatismus auftreten sehen.

§ 181. Bei Verordnung der Gläser für solche aphakisch-astigmatische Augen ist folgendes zu berücksichtigen: Nicht selten giebt das vom Optiker

gelieferte sphärisch-cylindrische Glas, das man nach der besten bei Vorsetzen der Gläser im Probiergestelle gefundenen Kombination verordnet hatte, eine wesentlich schlechtere Sehschärfe als diese Kombination, auch wenn es genau nach Vorschrift hergestellt war. Dimmer, der dieser Frage zuerst näher trat, sieht den Grund für die Erscheinung in folgendem: Im Probiergestelle pflegen wir eine bikonvexe Linse vor das Auge und vor diese das Cylinderglas zu setzen; der Optiker aber schleift bei Herstellung der sphärisch-cylindrischen Linse auf der vorderen Fläche die doppelte Krümmung des bikonvexen Glases, auf der hinteren die cylindrische Wölbung auf. (Die sphärisch gewölbte Fläche wird nach vorn gewendet, weil sonst bei stärkeren Gläsern die mittleren Teile dem Auge zu nahe kämen.) Dimmer erklärt die verminderte Sehschärfe aus der hierdurch bedingten Verrückung der Kardinalpunkte des kombinierten Systems: das vom Optiker gefertigte Glas wirkt in seiner sphärischen Komponente zu stark, in der cylindrischen zu schwach; insbesondere ist dies der Fall bei stärkeren Linsen (von mehr als 10 D. sphärisch) in Kombination mit einem cylindrischen Glase. Aus einer Tabelle Dimmer's geht z. B. hervor, dass durch derartige Benutzung plankonvexer Linsen an Stelle der bikonvexen die Überkorrektion der sphärischen Komponente für Gläser von 11 D. je nach dem Durchmesser bezw. der Dicke der Linse 0,3—0,4 Dioptrien beträgt, für Gläser von 14 D. 0,8—1,0 Dioptrien, für Gläser von 16 D. 1,23—1,51 Dioptrien. Ostwald hält den von Dimmer zur Erklärung herangezogenen Umstand für wenig belangreich; wesentlicher ist nach ihm, dass der korrigierende Cylinder für das aphakische Auge durch seine Stellung zu diesem stark beeinflusst wird, indem er sich bei Abstandsänderung nicht etwa wie ein sphärisches Konvexglas für die Korrektion einfacher Hypermetropie ändert, sondern wie die Differenz der sich weit stärker, und zwar beide verschieden stark, mit ihrem Abstand vom Auge ändernden starken, die beiden Hauptmeridiane korrigierenden Konvexgläser.

Sei + 13,0 D. ⊂ cyl. + 3,0 D. die beste Korrektion, wenn das Cylinderglas vor dem Konvexglase sitzt. In dem vom Optiker geschliffenen Glase wäre die Brechkraft der Kombination = + 13,73 ⊂ cyl. + 2,81. Ostwald hält es nicht für wahrscheinlich, dass diese Änderung eine Herabsetzung der Sehschärfe von $^5/_5$ auf $^5/_{18}$ bedingen konnte, wie es Dimmer in einem derartigen Falle beobachtet hatte. Dagegen würde ein Cylinderglas von angenähert 3 Dioptrien, das bei der Prüfung im Probiergestelle sich 20 mm vor dem Auge befindet, wenn es wie in dem kombiniert geschliffenen Glase nur 10 mm vor dem Auge steht, zur gleichen Wirkung eine Brechkraft von 3,8 Dioptrien haben müssen; jenes Glas wäre also in seiner cylindrischen Wirkung um fast eine ganze Dioptrie zu schwach. Da zugleich die sphärische Wirkung um $^3/_4$ Dioptrien zu groß ist, wenn das Glas in der angegebenen Weise geschliffen wird, so erklärt sich die beobachtete Verminderung der Sehschärfe zur Genüge.

Um diesen Fehler thunlichst zu vermeiden, empfiehlt es sich, zur Brillenbestimmung bei Aphakisch-Astigmatischen plankonvexe, sphärische Gläser

zu benutzen und das Cylinderglas dem Auge zunächst zu setzen. Jedenfalls soll dieses Glas nicht weiter vom Auge abstehen als im definitiven Gestelle. (Will man noch genauer vorgehen, so ist die Berechnung z. B. in einer von Ostwald ausführlicher angegebenen Weise vorzunehmen.)

§ 182. Im Anschlusse an die vorher untersuchten Formen von Astigmatismus möge eine Anomalie besprochen werden, die sich insofern von dem Astigmatismus in dem bisher besprochenen Sinne unterscheidet, als die »optische Zone« der Hornhaut die normale, angenähert sphärische Form haben kann. Die Störungen können hierbei vorwiegend oder ausschließlich durch eine abnorme Lage dieser Zone bedingt sein. Die nahen Beziehungen zum »Astigmatismus«, die u. a. in der Art der Sehstörung wie in der Möglichkeit der Korrektion durch Cylindergläser zum Ausdrucke kommen, begründen die Erörterung der Anomalie an dieser Stelle.

Es handelt sich im allgemeinen um Störungen, die dadurch bedingt sind, dass die optische Zone, die ja schon im normalen Auge weder im senkrechten noch im wagerechten Meridiane genau auf die Gesichtslinie centriert ist, in beträchtlicherem Maße von der normalen Lage sich entfernt. Javal hat diese Anomalie zuerst untersucht und dafür die Bezeichnung »cornée décentrée« vorgeschlagen (er fasste sie später als leichte Grade von Keratoconus auf); Sulzer beschreibt sie als Dissymmetrie der Hornhaut. Den Javal'schen ähnlich sind wohl die Fälle, die Angelucci als »cornee ectatiche in toto« beschrieb; wertvolle kasuistische Beobachtungen über die hierhergehörigen Störungen verdanken wir Dimmer. Gullstrand (dessen Darstellung wir uns im folgenden anschließen) schlägt allgemein für diejenige Anomalie des menschlichen Auges, welche eine Asymmetrie des in ihm gebrochenen Strahlenbündels verursacht, die Bezeichnung Asymmetrie oder Decentration vor, (indem er unentschieden lässt, ob hierbei mehr Decentration einer sphärisch brechenden Fläche oder asymmetrischer Bau der letzteren in den Vordergrund tritt).

Bei in klinischer Hinsicht normalen Augen fand Gullstrand folgende 3 Typen der Asymmetrie:

1. In den regelmäßigsten Fällen nur die normale, horizontale Asymmetrie (s. § 33).
2. In den weniger regelmäßigen Fällen eine solche Kombination von vertikaler und horizontaler Asymmetrie, dass das Bild einer normalen Asymmetrie in schiefer Richtung entsteht.
3. In unregelmäßigeren Fällen normale Asymmetrie des horizontalen kombiniert mit ausgeprägter abnormer Asymmetrie des vertikalen Meridians, jedoch mit vertikaler Verschiebung der Pupille in der Richtung der kleinsten Abflachung.

Die Grenzen zwischen normalen und pathologischen Formen sind auch hier keine scharfen, die durch die Asymmetrie hervorgerufenen Beschwerden individuell sehr verschieden. Eine Decentration der optischen Zone der Hornhaut z. B. nach unten hin, bei nahe am Centrum beginnender Abflachung nach oben, muss zur Folge haben, dass das in der Hornhaut gebrochene Strahlenbündel in Bezug auf die horizontale Ebene asymmetrisch wird. Ist das Auge frei von Astigmatismus (oder vorhandener durch Gläser korrigiert), so ist das gebrochene Strahlenbündel nicht vollkommen homocentrisch, sondern anastigmatisch. Auch bei schärfster Abbildung eines Punktes entsteht immer eine asymmetrische Zerstreuungsfläche auf der Netzhaut, die am kleinsten ist, wenn der Astigmatismus in Bezug auf den centralen Strahl als Leitstrahl korrigiert ist. Im ganzen gebrochenen Strahlenbündel variiert der Astigmatismus von Strahl zu Strahl, sowohl dem Grade, als auch, bei Fehlen von Symmetrieebenen, der Richtung nach. Es werden also stets durch Korrektion in Bezug auf diesen oder jenen Strahl als Leitstrahl anastigmatische Strahlenbündel erhalten. Bei Korrektion in Bezug auf andere Strahlen als den centralen werden die Zerstreuungsflächen zwar etwas größer, aber der neu hinzugekommene Teil ist im Verhältnisse zum anderen immer sehr lichtschwach; verschiedene Gläser korrigieren den Astigmatismus angenähert gleich gut. Die relativ beste Korrektion wird wesentlich bestimmt durch den Teil des Strahlenbündels, der die beste sphärische Korrektion hat; ist diese in einem excentrisch gelegenen Teile des Strahlenbündels am besten, so wird derselbe, wenn er bei weiter Pupille zur Wirkung kommt, sowohl für den Grad als für die Richtung der Hauptmeridiane des bei Untersuchung mit Gläsern gefundenen Astigmatismus bestimmend sein, während bei enger Pupille nur die centrale Partie des Strahlenbündels den Ausschlag giebt. Somit kann bei ausgesprochener Asymmetrie der durch Brechung in der Hornhaut entstandene Astigmatismus hinsichtlich des Grades sowohl wie der Richtung der Hauptmeridiane durch Änderung der Pupillengröße beeinflusst werden.

Wenn die normalerweise vorhandene horizontale Asymmetrie der Hornhaut ungewöhnlich stark ausgeprägt, d. h. die Hornhautkuppe ungewöhnlich weit nach außen von der Gesichtslinie decentriert ist, so kann bei weiter Pupille ein störender Einfluss auf die Lichtbrechung im Auge entstehen. In der Mehrzahl der Fälle findet man auch eine leichte Decentration der Pupille nach der Seite der geringsten Abflachung (d. i. hier nach außen), wodurch eine Art von Kompensation gegeben ist und das in der Hornhaut gebrochene, durch die Pupille hindurchgehende Strahlenbündel regelmäßiger wird, als es ohne diese Pupillendecentration wäre. Ist hingegen die Pupille in der Richtung der stärksten Abflachung (hier also nach innen) decentriert, so wird dadurch das Strahlenbündel unregelmäßiger. Ist in der optischen Zone kein Astigmatismus vorhanden, so wird Erweiterung der Pupille

direkten Astigmatismus bedingen: der innere Teil der erweiterten Pupille zeigt dann direkten Astigmatismus, während die Refraktion in den übrigen Pupillenteilen frei von Astigmatismus ist. Bei Pupillenerweiterung wird also in diesen Fällen das Sehen unverhältnismäßig schlechter und der Vorteil der Pupillenverengerung kann Anlass zu starkem Akkommodieren, eventuell zu Asthenopie geben. Gullstrand hat in einem solchen Falle durch Korrektion des Astigmatismus des peripheren Pupillenteiles die Beschwerden beseitigt, trotzdem dadurch das Sehen bei enger Pupille verschlechtert wurde.

Diese Fälle von horizontaler Asymmetrie sind viel seltener als die relativ häufig vorkommende vertikale Asymmetrie, woran die Asymmetrie der Hornhaut jedenfalls einen großen Anteil hat. (Inwieweit die Linse dabei eine Rolle spielt, ist noch unentschieden.) Durch eine solche Asymmetrie wird direkter Astigmatismus bei Erweiterung der Pupille vermindert, inverser aber vermehrt. Daher wird im allgemeinen Pupillenerweiterung bei geringem direktem Astigmatismus für das Sehen eher von Vorteil sein, dagegen bei Fehlen von Astigmatismus oder bei inversem von Nachteil. Wegen der wesentlichen Verbesserung der Bilder bei enger Pupille kann sich auch in diesem letzteren Falle das Bedürfnis zu starker Annäherung der Gegenstände und damit Asthenopie einstellen; solche Fälle können dann Myopie oder Akkommodationskrampf vortäuschen. Die Beschwerden werden oft durch die volle Korrektion des beim Fernsehen gefundenen Astigmatismus vollkommen beseitigt.

Gullstrand bezeichnet derartige Fälle als »latenten« Astigmatismus, da infolge des früher erwähnten Verhaltens der Brennlinien (es existiert nur ein hinterer, in vertikaler Richtung relativ dünnster Querschnitt, die vordere Brennlinie steht schief) die Erkennung desselben sehr erschwert sein kann. Die Sehschärfe findet man bei dieser Form des latenten Astigmatismus im allgemeinen nicht herabgesetzt, wenn die richtige Korrektion gefunden ist.

Bei schiefer Asymmetrie endlich ist das gebrochene Strahlenbündel von der »dritten Form«, hat also unter Umständen gar keine Brennlinie, daher kann auch diese Form leicht latent bleiben. Aus der Gestalt des gebrochenen Strahlenbündels erklärt sich die hier selbst bei bester Korrektion oft noch mangelhafte Sehschärfe, die schon oben kurz erwähnte »Amblyopie bei Astigmatismus«, die man früher vielfach auf Funktionsunfähigkeit der Netzhaut bezog. Ist eine Brennlinie vorhanden, so kann man bei Bestimmung der Sehschärfe in der üblichen Weise letztere in der Richtung beider Hauptmeridiane verschieden groß finden (»astigmatische Amblyopie«).

Auf das Vorhandensein schiefer Asymmetrie kann geschlossen werden, sobald die Hauptmeridiane des cornealen oder des totalen Astigmatismus erheblich von der Längsrichtung der Lidspalte abweichen oder die durch die Denivellation

im Ophthalmometer gefundenen Hauptmeridiane nicht senkrecht gegen einander stehen.

Durch subjektive Prüfung mittels Gläsern lässt sich der latente Astigmatismus wohl immer aufdecken, auf den bei Asthenopie oder ungenügender Sehschärfe mit der gewöhnlichen Korrektion immer zu fahnden ist. (GULLSTRAND giebt genauere Vorschriften zur Untersuchung dieser Formen mittels Sternstrahles und Leseproben. Wie häufig bei der subjektiven Untersuchung derselben inverser Astigmatismus gefunden wird, erhellt aus der Thatsache, dass unter 100 Kranken, welchen von ihm Cylindergläser verordnet wurden, 53 den inversen Typus zeigten.)

Die bisherigen Erörterungen bezogen sich auf Fälle mit annähernd normaler oder doch nur innerhalb der physiologischen Grenzen excentrisch gelegener Pupille. Die Verhältnisse werden noch komplizierter und die Störungen viel ausgesprochener bei abnorm excentrischer Lage der Pupille, etwa nach Iridektomie, wodurch schon in einem sonst normal gebauten Auge infolge der Änderung des Einfallswinkels der Visierlinie eine merkliche Störung hervorgerufen werden kann; insbesondere kommt bei Iridektomie nach außen zu dem Einflusse der normalen schiefen Incidenz (die an sich allein ja keine merkliche Verschlechterung des Sehens bedingt) noch jener der Pupillendecentration hinzu. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse für das Sehen natürlich, wenn eine solche Pupillendecentration in astigmatischen Augen auftritt.

Für die klinische Feststellung der Asymmetrie ist einmal die Untersuchung der Spiegelbilder geeigneter Objekte an verschiedenen Stellen der Hornhaut sehr brauchbar; ferner kann auch die skiaskopische Untersuchung gute Dienste thun: Wenn hier bei Spiegeldrehung der rote Reflex im oberen Pupillarteile sich merklich anders verhält als im unteren, so deutet dies auf Asymmetrie, ebenso, wenn bei Refraktionsbestimmung durch verschiedene Teile der Pupille hindurch im aufrechten Bilde ungewöhnlich große Refraktionsdifferenzen gefunden werden. Für die subjektive Ermittelung der Asymmetrie ist die Untersuchung mit dem leuchtenden Punkte besonders wertvoll.

§ 183. Unter den hier noch zu besprechenden Wölbungsanomalien der brechenden Flächen des Auges nehmen der Keratoconus und Lenticonus eine besondere Stellung ein. Bei ersterem handelt es sich im wesentlichen um eine Vorwölbung der mittleren Hornhautteile derart, dass meist eine nach unten (oder unten außen) von der Hornhautmitte gelegene Partie die Kuppe der Vorwölbung bildet und den kleinsten Radius zeigt, wodurch das Bild einer sehr ausgeprägten vertikalen Asymmetrie entsteht. Die Vorwölbung hat im allgemeinen eher hyperboloide als konische Form und ist gewöhnlich nicht sehr regelmäßig. Sie tritt meist schon in jugendlichem Alter an sonst anscheinend gesunden Hornhäuten ohne äußere Veranlassung

auf und kann unter allmählichem stetigem Fortschreiten im Laufe der Jahre sehr hohe Grade erreichen. Die Untersuchung mit dem Keratoskop zeigt auch in den leichteren Fällen, dass in der Nähe der Kuppe die Spiegelbilder verhältnismäßig klein sind und nach den Seiten hin in allen Richtungen, am raschesten nach oben und unten hin, zunehmen.

In einer Reihe von Fällen (Leroy, Dubois-Model, Gullstrand, Wagenmann, Callies, P. Knapp) zeigte diese Kuppe deutliche Pulsation, die in dem Falle Wagenmann's auch für den Patienten wahrnehmbar war, indem die Zerstreuungsscheibe einer entfernten Kerze synchronisch mit jedem Radialpulse sich ungefähr auf das Doppelte verbreiterte und dann wieder verschmälerte. Lohnstein wurde auf die Entstehung eines Keratoconus an seinem eigenen Auge aufmerksam durch das Auftreten eines lichtschwachen, aber scharfen Nebenbildes neben dem Hauptbilde entfernter, leuchtender Objekte; ersteres machte neben dem anderen mit dem Pulse synchronische Oscillationen. In den anderen Fällen wurden die Pulsationen des Keratoconus für den Beobachter erkennbar durch Schwankungen der weißen Figuren des Ophthalmometers. Gullstrand beobachtete bei der Systole an der Spitze des Hornhautkegels eine Vergrößerung, an den seitlichen Teilen eine Verkleinerung des Krümmungsradius, sodass die Kegelspitze während der Systole sich mehr der Form eines Kugelabschnittes näherte. (Er sieht in dem Drucke der Lider einen wichtigen Faktor für die Entwicklung des Keratoconus nach unten von der Hornhautmitte.)

In den anatomisch untersuchten Fällen von Keratoconus beim Menschen fand man beträchtliche Verdünnung der mittleren Hornhautpartien, während bei experimentell durch die Funken einer Leidener Flasche (Hess) oder durch Abkratzen des hinteren Epithelbelags (Plaut) an Kaninchenaugen erzeugtem Keratoconus die Hornhaut in den mittleren, vorgewölbten Teilen stark, zum Teile um das dreifache, verdickt gefunden wurde. Die Sehstörungen bei Keratoconus sind meist beträchtlich; einmal bedingt die starke Krümmung der Hornhautkuppe hochgradig myopische Refraktion (20—30 Dioptrien und mehr), andererseits hat die excentrische Lage dieser Kuppe und die meist ziemlich ungleichmäßige Krümmung der Hornhaut in deren Umgebung eine so unregelmäßige Gestalt des gebrochenen Strahlenbündels zur Folge, dass die Sehschärfe auch nach Korrektion der Kurzsichtigkeit noch sehr gering bleibt; oft tritt störende monoculare Diplopie oder Polyopie hinzu. Endlich wird die Sehstörung in vielen Fällen noch gesteigert durch mehr oder weniger ausgedehnte Trübungen in der Nähe der Hornhautkuppe, die insbesondere bei den höheren Graden von Keratoconus selten ganz fehlen.

Beim Versuche einer optischen Korrektion muss man sich zuweilen mit der Verordnung starker Konkavgläser begnügen, in anderen Fällen geben Cylindergläser etwas bessere Sehschärfe (häufig ist auch hier die Sehschärfe mit sehr verschieden starken Gläsern annähernd gleich). Dor

hat konische, RÄHLMANN hyperbolische Gläser zur Korrektion des Keratoconus empfohlen (vgl. § 68); von verschiedenen Seiten ist über gute Erfolge mit letzteren berichtet worden, die Krümmung der Hornhaut ist aber im allgemeinen nicht regelmäßig genug, als dass eine angenähert normale Sehschärfe damit erwartet werden dürfte. Der wesentliche Nachteil derselben liegt darin, dass sie im allgemeinen nur bei einer bestimmten Stellung des Glases zum Auge das Sehen bessern, bei anderen Stellungen dagegen verschlechtern.

Weiter kommen für die Besserung der Sehschärfe die verschiedenen Hilfsmittel in Betracht, durch welche die unregelmäßige Hornhautbrechung optisch ausgeschaltet wird (Kontaktglas, Hydrodiaskop u. s. w., vgl. § 71). Endlich sind auch für Keratoconus stenopäische Brillen, insbesondere die oben erwähnte SNELLEN'sche Spaltbrille empfohlen worden.

(Auf die nur für schwerere Fälle in Betracht kommenden) operativen Behandlungsmethoden, die in der letzten Zeit viel versucht worden sind, können wir hier nur kurz hinweisen. Nach verschiedenen Berichten (HIRSCHBERG-DUERDOTH, CRITCHETT, ELSCHNIG, CZERMAK u. a.) hatte die Kauterisation der Kuppe des Keratoconus mit nachträglicher Tätowierung der Narbe besonders günstige Erfolge. Durch die Narbe wird der Zunahme des Hornhautkegels Einhalt gethan und zugleich eine für das Sehen vorteilhafte Abflachung der Hornhaut herbeigeführt. Dieses Verfahren verdrängt, wie es scheint, immer mehr die früher viel geübte optische Iridektomie (v. GRAEFE) und die einfache oder doppelte Iridodesis (BOWMAN). SCHIESS und REYMOND machten mit dem GRAEFE'schen Messer Punktion und Kontrapunktion unter der Kuppe, an der Basis des prominenten Teiles des Keratoconus, REYMOND sah davon gute Erfolge.)

Als Lenticonus (1874 WEBSTER) oder Krystalloconus (1880 PLACIDO) werden Formveränderungen der Linse bezeichnet, die wesentlich durch eine ungefähr konische Vorwölbung der vorderen (L. anterior) oder hinteren (L. posterior) Linsenfläche in der Gegend der Linsenpole charakterisiert sind. Der vordere Lenticonus gehört zu den größten Seltenheiten; WEBSTER hat einen solchen Fall abgebildet, wo man den klaren Linsenkegel bei seitlicher Beleuchtung durch die Pupille in die vordere Kammer hineinragen sieht.

Die Fälle von L. posterior (die zum Teil schon früher besprochen wurden, vgl. § 145) sind etwas häufiger. Bei Durchleuchtung mit dem Augenspiegel sieht man in der Regel eine mehr oder weniger gleichmäßig rundliche, von der Umgebung sich absetzende Scheibe in der Gegend des hinteren Linsenpoles, die meist hochgradig myopische Refraktion zeigt und zuweilen »wie ein Öltropfen in Wasser« erscheint (KNAPP); öfter findet man diese mittlere Partie von einem tief dunklen Ringe umgeben; GULLSTRAND konnte durch Untersuchung des hinteren Linsenbildchens in seinem Falle nachweisen, dass der Übergang von der normalen Hinterfläche

der Linse zum Lenticonus durch eine nach vorn konvexe Fläche erfolgte. Bei mikroskopischer Untersuchung konnte ich in mehreren Fällen von hinterem Lenticonus (der vordere Lenticonus ist bisher anatomisch noch nicht untersucht) eine Unterbrechung der hinteren Kapsel und unregelmäßiges Vordringen der Linsenmassen gegen den Glaskörperraum feststellen; diese Befunde wurden durch spätere Angaben von Bäck, Mulder, Bach u. a. bestätigt. Alle hier angeführten Umstände erklären es genügend, dass bei Lenticonus meist ein hoher Grad von irregulärem Astigmatismus mit entsprechend herabgesetzter Sehschärfe gefunden und Korrektion durch Gläser in der Regel nur in geringem Umfange möglich sein wird. Der Unterschied zwischen der Brechung in den centralen und jener in den peripheren Pupillenteilen kann 24, ja 34 Dioptrien betragen (Elschnig). (Der Brechungsverlust durch Linsenentfernung wird natürlich in solchen Augen außerordentlich groß sein können.)

Ein dem geschilderten ähnliches ophthalmoskopisches Bild (doch im allgemeinen mit weniger hochgradigen Veränderungen) kann bei normaler Gestalt der Linse dadurch bedingt werden, dass ihr Kern sich optisch stark von der Rindensubstanz unterscheidet; diese Differenzierung giebt unter Umständen zum Auftreten eines besonderen, den Purkinje'schen entsprechenden Reflexbildchens an der Kernoberfläche Anlass. (An Starlinsen hat schon Becker (1883) eine solche Differenzierung des Kerns beschrieben.) Auch bei solchen (klaren) Linsen findet sich ophthalmoskopisch oft in den mittleren Pupillenteilen eine um mehrere Dioptrien höhere Refraktion als in den peripheren, wodurch sehr charakteristische Erscheinungen bei skiaskopischer Untersuchung hervorgerufen werden können (Antonelli 1895). Die Kernpartien der Linse zeigen oft einen graulichen Reflex; die Sehschärfe ist meist stark herabgesetzt. Demicheri nimmt für seine Fälle eine Brechungsverminderung in den peripheren Linsenteilen, Guttmann für die seinigen eine Vermehrung der Brechung im Kerne an.

Im Anschlusse an diese Linsenanomalien sei auch ein Fall von abnorm starker sphärischer Aberration erwähnt, den Cordiale kürzlich beschrieben und auf abnorme Kleinheit der Linse bezogen hat. Insbesondere die hintere Linsenfläche schien sehr stark gekrümmt zu sein; C. berechnet daraus eine sphärische Aberration von 11 Dioptrien; trotzdem war die Sehschärfe normal.

§ 184. In das Gebiet des irregulären Astigmatismus wird man zweckmäßig alle solche Anomalien verweisen, wo die Hornhaut (z. B. durch Narbenbildung u. s. w.) in einem kleineren oder größeren Teile ganz unregelmäßige Wölbung zeigt, oder wo durch krankhafte Vorgänge in der Linse die Strahlenbrechung derartige Störungen erfährt, dass die Voraussetzungen zu einer Berechnung der Form des gebrochenen Strahlenbündels vollständig abgehen, wie z. B. bei Lenticonus und bei der beginnenden Starbildung. Ferner

kann irregulärer Astigmatismus Folge von Subluxation oder Luxation der Linse sein: die Strahlen werden durch die Randteile der Linse meist lange nicht so regelmäßig gebrochen wie durch die mittleren; dazu kommt hier häufig noch eine beträchtlichere Schiefstellung der Linse.

Bei den eben besprochenen Formen handelt es sich um dauernden irregulären Astigmatismus; vorübergehend kann ein solcher hervorgerufen werden durch Zukneifen eines Auges z. B. beim Mikroskopieren (Leroy, Landerer, Crispo u. a.) oder, nach Bull (1894), der diese Erscheinungen eingehend beschreibt, auch schon durch längeres Lesen bei stark gesenktem Blicke, wobei das obere Lid genügend auf die Hornhaut drückt, um Epithelveränderungen zu bedingen, die auch nach Aufhören des erzeugenden Druckes noch 1/2 Stunde und länger bestehen und sich u. a. durch störende Diplopie oder Polyopie bemerklich machen können (»tarsale Asthenopie«). Die lange Nachdauer einer solchen vorübergehenden Einwirkung auf die Hornhaut (z. B. länger dauernder Verengerung der Lidspalte) beobachtete auch Lohnstein an seinem eigenen Auge mit Keratoconus.

Schon Purkinje kannte diese merkwürdige, lange Nachdauer eines von außen wirkenden Druckes auf die Form der Hornhaut: Auf seine mit Kurzsichtigkeit von 6 Dioptrien behafteten Augen legte er des Nachts Ledersäckchen, die mit 1/2 Pfund Eisenfeile gefüllt waren, und konnte dann den nächsten Vormittag einige Stunden lang die Hausnummern über die Straße ziemlich deutlich erkennen und in 40—50 Schritt Entfernung Personen fast ebenso deutlich sehen, wie mit dem Augenglase.

Zur Erkennung des irregulären Hornhautastigmatismus leistet das Keratoskop sehr gute Dienste. Auch verhältnismäßig geringe Krümmungsunregelmäßigkeiten sind durch die unregelmäßige Verzerrung der Spiegelbilder der konzentrischen Ringe leicht zu erkennen. Irregulärer Linsenastigmatismus wird am leichtesten durch die Skiaskopie aufgedeckt.

Die durch den irregulären Astigmatismus hervorgerufenen Sehstörungen sind naturgemäß je nach dessen Grad und Umfang sehr verschieden, meist verhältnismäßig beträchtlich, häufig mit Diplopie oder Polyopie verbunden und in der Mehrzahl der Fälle mit Gläsern wenig oder gar nicht zu bessern. Doch gilt dies durchaus nicht ausnahmslos. Fälle, wo infolge von Narbenbildung in der Hornhaut ein Teil der letzteren so weit abgeflacht wurde, dass starke Hypermetropie entstand und durch Konvexgläser das Sehen wesentlich gebessert werden konnte, erwähnten wir schon bei Besprechung der Hypermetropie; in manchen Fällen von Lenticonus haben, wie wir sahen, konkave oder cylindrische Gläser günstigen Einfluss auf die Sehschärfe. Wenn die Störungen vorwiegend durch Unregelmäßigkeit der Wölbung der Hornhaut (ohne stärkere Trübungen der letzteren) bedingt sind, kann auch hier Ausschaltung der Hornhautbrechung mit Kontaktgläsern oder Hydrodiaskop das Sehen wesentlich bessern.

Litteratur.

1793. **Thomas Young**, Philos. Transact. LXXXIII. S. 169.

1810. **Gerson**, De forma corneae oculi humani deque singulari visus phaenomeno. Goettingae. (Kurz resumiert in Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1866. S. 57.

1827. **Airy**, Transact. Cambridge Philos. Soc. II. (VIII. 1849.

1828. **Hamilton**, Theory of systems of rays. Transact. of the Roy. Irish Acad. XV. XVI. 1831; XVII. 1837

1838. **Sturm**, Mémoire sur l'optique. Journ. de Mathématiques pures et appliquées par Liouville.

1845. **Sturm**, Mémoire sur la théorie de la vision. Compt. Rend. de l'Acad. des Sc. XX u. Pogg. Ann. LXV. S. 116.

Schultèn, Note sur les faisceaux infiniment menus, répandus dans l'espace suivant une loi analytique donnée. Mémoires présentés à l'académie Impériale de St. Petersbourg. IV.

1848. **Goode**, Monthly Journ. Med. Sc. Edinb. S. 711.

Goode, Transact. Cambridge Philos. Soc. VIII. S. 493.

1849. **Schnyder**, Verh. d. Schweizer naturf. Ges. und Ann. d'Ocul. XXI. S. 222.

Stokes, Reports of the Brit. Assoc. for the advancement of Science. S. 10.

Fick, De errore optico etc. Zeitschr. f. rat. Med. N. F. II. S. 83.

1854. **Laurence**, On disease of the eye edited by J. J. Hays. Philadelphia. S. 669.

1858. **v. Graefe**, Über Iridektomie bei Keratoconus. Arch. f. Ophth. IV, 2. S. 271.

1859. **Bowman**, Contribution to the general history of conical cornea. Ophth. Hosp. Rep. IX. S. 154.

1860. **Kummer**, Allgemeine Theorie der geradlinigen Strahlensysteme. Borchardt's Journ. f. d. reine u. angewandte Mathematik.

Wharton Jones, Analysis of my sight with a view to ascertain the focal power of my eyes for horizontal an for vertical rays etc. Proc. Roy. Soc. X. S. 380 u. Phil. Mag. XX. S. 480.

1861. **Donders**, Beiträge zur Kenntnis der Refraktions- und Akkommodationsanomalien. Arch. f. Ophth. VII. S. 155.

1862. **Knapp**, Über die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridiansystemen. Arch. f. Ophth. VIII. 2. S. 185.

Donders, Astigmatismus und cylindrische Gläser. Berlin.

1863. **Bumstead**, Sur l'astigmatisme. Amer. med. Times. Neue Serie. VII. S. 18.

Derby Hasket, Quatre cas d'astigmatisme. Amer. med. Times. Neue Serie. VII. S. 24.

Javal, Note sur le choix des verres cylindriques. Ann. d'Ocul. LIII. S. 50.

Kugel, C., Über die Wirkung schief vor das Auge gestellter sphärischer Brillengläser beim regelmäßigen Astigmatismus. Arch. f. Ophth. X, 1. S. 89—96.

Middelburg, De Zitplaats van het Astigmatisme. Utrecht.

Poppe, B. A., Beiträge zur Optik des Auges. Arch. f. Ophth. X, 1. S. 41—63.

Schweigger, Über die Diagnose und Korrektion des Astigmatismus. Arch. f. Ophth. IX. 1. S. 178.

1864. **Knapp, J. H.**, Über die Diagnose des irregulären Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 304—316.

1865. **Businelli**, Un cas d'astigmatisme. Giorn. d'Oftalm. Ital. VII. S. 10. Ann. d'Ocul. LIII. S. 258.

Goulier, Sur un défaut assez commun de conformation des yeux et sur les moyens de rendre la vue distincte aux personnes qui en sont atteintes. Compt. Rend. LXI. S. 266.

Hasner v. Artha, Klin. Vorträge über Augenheilkunde. 2. Abt.: Krankheiten der Hornhaut etc. Prag. S. 141—145.

1865. Javal, E., Note sur le choix des verres cylindriques. Ann. d'Ocul. LIII. S. 50.
Javal, E., Über ein neues Instrument zur Prüfung des Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 340.
Kaiser, H., Zur Theorie des Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XI, 3. S. 186 bis 229.
Kugel, L., Über die Sehschärfe bei Astigmatikern. Arch. f. Ophth. XI, 1. S. 106—113.
1866. Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Wien.
Green, John, Toetslynen tot bepaling van astigmatisme. Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 7. S. 155. Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. II.
Javal, E., Sur le choix des verres cylindriques. Ann. d'Ocul. LV. S. 5—29.
Javal, E., Histoire et bibliographie de l'astigmatisme. Ann. d'Ocul. LV. S. 105—127.
Nagel, A., Historische Notiz über Hyperopie und Astigmatismus. Arch. f. Ophth. XIII, 1. S. 25—30.
1867. Green, J., Über die Auffindung und Messung von Astigmatismus. Amer. Journ. of med. Sc. Jan.
Javal, E., De l'astigmatisme. Rev. méd. II. S. 52.
Javal, E., Nouvel instrument pour la détermination de l'astigmatisme. Ann. d'Ocul. LVII. S. 39.
Sang, On some phenomena of indistinct vision. Proc. Edinb. Soc. VI. S. 58.
1868. Becker, O., Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus. Wien.
v. Bezold, Über Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut. Arch. f. Ophth. XIV, 2. S. 1.
Dobrowolsky, W., Über verschiedene Veränderungen des Astigmatismus unter dem Einfluss der Akkommodation. Arch. f. Ophth. XIV, 3. S. 51—105.
1869. Brücke, E., Über asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge. Wien und Berlin. LVIII, 2. S. 321—329.
Green, John, On a new system for tests for the detection and measurement of astigmatism with an analysis of sixty four cases of refractive anomalies observed by the aid of this method. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 131.
Green, John, On a colour test for astigmatism. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 130.
Reuss und Woinow, Ophthalmometrische Studien. Wien.
Schirmer, R., Contributions à l'histoire de l'astigmatisme et de l'hypermétropie. Ann. d'Ocul. LXII. S. 202.
Snellen, H., De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog. Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 151. Arch. f. Ophth. XV, 2. S. 191—207.
1870. Hay, Apparent form of inverted ophthalmosc. image of optic disc in astigm. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 86.
Heyman, Astigmatismustafeln nach Dr. Pray. Leipzig, Engelmann.
Pray, Probebuchstaben zur Bestimmung des Astigmatismus. Arch. f. Augenheilk. I, 1. S. 147.
Wecker, Astigmatismus und Schädelbildung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. VIII. S. 161.
Woinow, Zur Frage über die Akkommodation. Arch. f. Ophth. XV, 2. S. 167.
1871. Berlin, E., Zur Berechnung des Astigmatismus der Hornhaut. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 217.
Green, J., On astigmatism as an active cause of myopia. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 105.
Loring, An astigmatism glass for cataract patients with some remarks on the statistics of vision in cataract operations. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 108.

1871. Strawbridge, An additional method for the determination of astigmatism. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 100.

Woinow, Astigmatismus bei Staroperierten. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 466.

1872. Abadie, Trouble de la réfraction dû à un astigmatisme irrégulier de la cornée et simulant de l'héméralopie. Journ. d'Opht. I. S. 21.

Bravais, Nouvel appareil pour diagnostiquer l'astigmatisme. Journ d'Opht. S. 488.

Noyes, Note respecting the first recorded case of astigmatism in this country, for which cylindrical glasses were made. Amer. Journ. of the med. Sc.

Tarley, A method of discovering and correcting astigmatism. Boston med. and Surg. Journ. S. 381.

1873. Couper, L'ophtalmoscope employé comme optomètre dans l'astigmatisme. Congr. de Londres. Compt. Rend. S. 120.

Javal, E., Des variations de l'astigmatisme. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 5. Juill. S. 270.

Javal, E., Divers appareils pour la mesure de l'astigmatisme. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 5. Juill. S. 303.

Javal, E., Appareil pour la mesure de l'astigmatisme. Gaz. méd. de Paris. No. 44.

Snellen, Die Stokes'sche Linse mit konstanter Achse. Arch. f. Ophth. XIX, 1. S. 78.

1874. Galezowski, De quelques variétés d'astigmatisme. Rec. d'Opht. S. 464.

Hewetson, Some remarks on the treatment of certain kinds of conical cornea by optical means illustrated by a case. Ophth. Hosp. Rep. VIII. S. 21.

Hough, On the detection and estimation of astigmatism. Cincinnati Lancet and observer. May. S. 262.

Noyes, Astigmatism produced by tenotomy of recti muscles. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 128.

Thompson, Three cases of conical cornea corrected by suitable glasses. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 132.

Weiss, Polyopia monocularis an einem Auge, dessen Hornhaut abnorm gekrümmt ist ein dem Keratoconus entgegengesetztes Verhalten zeigt. Arch. f. Ophth. XXI, 2. S. 187.

1875. Bravais, Du diagnostic ophtalm. de l'astigmatisme. Lyon méd. No. 26

Hay, On the increase of refractive power of a plano-cylindrical lens, when rotated about its axis. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 319.

Hulke, Summary of 192 cases of astigmatism. Ophth. Hosp. Rep. VIII. S. 141.

Stimmel, Objektive Bestimmung des Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 390.

Wadsworth, On the effect of a cylindrical lens with vertical axis placed before one eye. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 342.

1876. Noyes, The optical error of conical cornea, and report of two cases treated by operation. Rep. of the fifth internat. ophth. Congr. S. 72—80.

Tweedy, On an improved optometer for estimating the degree of abnormal regular astigmatism. Lancet. 28. Oct. S. 604.

1877. Berlin, Über traumatischen Linsenastigmatismus. Sitzungsber. d. Heidelberger ophth. Vers. S. 174.

Hay, Über die analytischen Bedingungen derjenigen Form des astigmatischen Strahlenbündels, in welcher die beiden Brennlinien aufeinander und jede auf der Achse des Büschels senkrecht stehen und über die Korrektion eines solchen Büschels durch eine plancylindrische Linse. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. VI, 1. S. 48.

Javal, Procédé rapide d'optométrie.

1877. Schön, Über die Brechung seitlich einfallender Strahlen in der Linse. Sitzungsber. d. Heidelberger ophth. Ges. S. 178.

Weiss, Über den nach dem Weber'schen Hohlschnitt entstehenden Cornealastigmatismus und die Ursache des nach der Extraktion entstehenden Astigmatismus überhaupt. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilk. VI, 1. S. 58.

1878. Brailey, Astigmatism considered in its relation to headache and to certain morbid conditions of the eye. Guy's Hosp. Rep. S. 1.

Thomson, A practical and rapid method, with an instrument for the diagnostic of the refraction.

1879. van Haaften, Het Bepaalen van Astigmatism. Proefschr. Utrecht.

Javal, Astigmatisme chez les enfants. Soc. de Biol. Fevr. Gaz. Hebd. S. 145.

Cuignet, Astigmatisme composé et oblique; kératoskopie. Rec. d'Opht. S. 73.

Raehlmann, Gläserkorrektion bei Keratoconus. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 50.

Thompson, On astigmatism as a cause for persistent headache and other nervous symptoms. Med. News and Libr. Philadelphia. XXXVIII. S. 81.

1880. Anderson, New instrument for estimating astigmatism. Lancet. II. S. 455.

Javal, De l'astigmatisme au point de vue de l'hygiène. Rev. d'Hyg. Paris. II. S. 990.

Leroy, Sur l'astigmatisme. Compt. Rend. XC. S. 1277.

Little, A tabular report exhibiting the position of the axis of the cylinder in simple, compound and mixed astigmatism; the myopic and hypermetropic form compared. With remarks. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. S. 67.

Placido, Una nuova anomalia de conformaçao de cristallino. Periodo de ophth. prat. No. 3. Ref. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 450.

Prouft, J. M., Pathogénie de l'astigmatisme régulier produit par la cornée. Journ. Soc. de Méd. et Pharm. de la Haut-Vienne. Limoges. IV. S. 66.

Röder, Über gemeinschaftliche Ursachen von Glaucom, Myopie, Astigmatismus und den meisten Katarakten. Arch. f. Augenheilk. IX. S. 164.

Schiötz, Mensurations ophtalmométriques de l'astigmatisme. Congr. d'Opth. de Milan. Compt. Rend. 1881. S. 12.

Webster, A case of mixed astigmatism, supposed to have been caused by the sucking of the eye by an infant. Med. Rec. New York. XVIII. S. 38.

1881. Ayres, Notes on the focal lines in astigmatism. New York med. Journ. S. 476.

Javal et Schiötz, Un ophtalmomètre pratique. Communication faite à Londres.

Landesberg, Über das Auftreten von regelmäßigem Astigmatismus bei gewissen Refraktions- und Akkommodationsanomalien. Arch. f. Ophth. XXVII, 2. S. 89.

Leroy, Théorie de l'astigmatisme. Arch. d'Opht. franç. Mars-Avril et Mai-Juni.

Parent, Diagnostic et détermination objective de l'astigmatisme. Rec. d'Opht. S. 229.

Raehlmann, Hyperbolische Linsen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 303.

1882. Gavarres, Astigmatisme et ophtalmométrie. Rev. Sc. XXX. S. 74.

Hermann, Über Brechung bei schiefer Incidenz, mit besonderer Berücksichtigung des Auges. Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. S. 291.

Hirschberg, Keratoskop. Centralbl. f. Augenheilk.

Javal, Contribution à l'ophtalmométrie. Ann. d'Ocul. LXXXVII. S. 213; LXXXVIII. S. 33.

Leroy, Sur la théorie de l'astigmatisme. Rev. Gén. d'Opht. I. S. 129.

Matthiessen, Über die Form unendlich dünner astigmatischer Strahlenbündel und über die Kummer'schen Modelle. Centralz. f. Opt. u. Mech. No. 24.

1882. Mengin, Note sur un phénomène subjectif produit par un astigmatisme myopique composé. Rec. d'Opht. S. 7.

Placido, Neue Instrumente. Centralbl. f. Augenheilk.

1883. Angelucci, Ricerche ottalmometriche per determinare lo astigmatismo irregulare delle cornee coniche. Ann. di Ottalm. XV. S. 48.

Bono, Dell' astigmatismo negli operati di cataratta per estrazione. Giorn. d. R. Accad. di Torino. 3. Serie. XXXI. S. 131.

Burnett, Swan, Refraction in the principal meridians of a triaxial ellipsoid, with remarks on the correction of astigmatism by cylindrical glasses and an historical note on corneal astigmatism. With a communication on the monochromatic aberration of the human eye in aphakia. Arch. of Ophth. XII, 1. S. 1.

Hay, Some additional remarks on the theory of the astigmatic pencil. Transact. Amer. Ophth. Soc. 19. Meet. S. 549.

Imbert, De l'astigmatisme. Paris.

Landesberg, Über das Auftreten von regelmäßigem Astigmatismus bei gewissen Refraktions- und Akkommodationsanomalien. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dez.

Laqueur, Ophthalmometrische Untersuchungen über die Verhältnisse der Hornhautkrümmung im normalen Zustand und unter pathologischen Bedingungen. Bericht d. 15. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 17.

Martin, La kératite astigmatique. Compt. Rend. XC, 6 u. Journ. de Thérap. No. 17. S. 651.

Martin, G., Sur le rapport qui existe entre une variété de la kératite grave dite »scrofuleuse« et l'astigmatisme de la cornée. Ann. d'Ocul. XC. S. 14.

Martin, G., Contribution à l'étude de la kératite astigmatique. Ann. d'Ocul. XC. S. 176.

Matthiessen, Über die Form eines unendlich dünnen astigmatischen Strahlenbündels und über die Kummer'schen Modelle. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 10.

Matthiessen, Über die Form der astigmatischen Bilder sehr kleiner gerader Linien bei schiefer Incidenz der Strahlen in ein unendlich kleines Segment einer brechenden sphärischen Fläche. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXIX, 1. S. 147.

Matthiessen, Über den schiefen Durchgang unendlich dünner Strahlenbündel durch die Krystalllinse des Auges. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXII. S. 97.

Nordenson, Recherches ophtalmométriques sur l'astigmatisme de la cornée chez des écoliers de 7 à 20 ans. Ann. d'Ocul. LXXXIX. S. 110.

Prouff, Antagonisme entre la myopie progressive et les forts degrés de l'astigmatisme conforme à la règle. Rev. Clin. d'Opht. de Bordeaux. IV. S. 100.

Schiötz, Om nogle optiske Egenskaber ved Cornea. Nord. med. Ark. XIV, 28.

v. Wecker, Kératoscopie clinique. Ann. d'Ocul. XC. S. 165.

Wecker und Masselon, Modification apportée à l'astigmomètre. Ann d'Ocul. LXXXIX. S. 1[illegible]8.

Zehender, Zur Astigmometrie. Bericht d. 15. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 29 u. 176.

1884. Angelucci, Sulla refrazione e correzione delle cornee coniche ed ectatiche. Ann. di Ottalm. XIII. S. 35.

Böklen, Über die Krümmung der Flächen. Borchardt's Journ.

Girard, La kératite astigmatique. Rev. Trimestr. d'Opht. April. S. 9.

Hay, Two cases in which Raehlmann's hyperbolic glasses improved vision. Transact. Amer. Ophth. Soc. Boston. S. 724.

1884. Higgins, Conical cornea of both eyes. Lancet. Juli. S. 144.
Javal, Variation de courbure de la cornée en synchronisme avec les pulsations cardiaques. Soc. de Biol. 4. Oct. Progr. méd. No.43.
Landesberg, Some new facts about astigmatism. New York med. Journ. XXXIX. S. 27.
Laqueur, Über die Hornhautkrümmung im normalen Zustande und unter pathologischen Verhältnissen. Arch. f. Ophth. XXX, 1. S. 99.
Leroy, De la kératoscopie ou de la forme de la surface cornéenne, déduite des images apparentes réfléchies par elle. Arch. d'Opht. S. 140.
Masson, Alb., Etude sur l'astigmatisme cornéen et la perception des couleurs chez les opérés de cataracte. Lyon 1883. 71 S.
Martin, Blépharospasme astigmatique. Ann. d'Ocul. XCI. S. 44.
Privat, Gaston, Considérations sur l'astigmatisme. Montpellier 1883. S. 69.
Vacher, L., Sur l'astigmatisme considéré comme une des causes de la cataracte. Gaz. Hebd. de Méd. XXI. S. 463.
1885. Aguilar Blanch, J., El astigmatismo; juicio critico sobre los procedimientos de su determinación. Rev. Esp. de Oftal., Sif. etc. Madrid. IX. S. 3, 97, 145, 241.
Burnett, Swan M., The action of cylindrical glasses in the correction of regular astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. II. S. 275.
Culbertson, On the application of cylindrical glasses in spasmodic myopic astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. II. S. 181.
Dennet, The Stokes' lens for measuring astigmatism. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-first Meet. S. 106.
Ferret, Quatre cas d'astigmatisme myopique. Bull. Clin. Quinze-vingts. S. 47.
Harlan, Description of J. L. Borsch's sphero-cylindrical combination lens, ground on one surface only. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-first Meet. S. 96.
Hewetson, The relation between sick headaches and defective sight chiefly resulting from astigmatism; their pathology and treatment by glasses. Med. Times and Gaz. I. S. 27, 375.
Martin, De l'étiologie de la cataracte. Arch. d'Opht. S. 168. (Soc. franç. d'Opht.
Naumann, Détermination de l'astigmatisme d'après un procédé nouveau. Bull. et Mém. Soc. franç. d'Opht. III. S. 335.
Pfalz, G., Zur Frage über das Zustandekommen der abnormen Form von Cornealastigmatismus bei Glaucom. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Dez. S. 382.
Pfalz, G., Ophthalmometrische Untersuchungen über Cornealastigmatismus, mit dem Ophthalmometer von Javal und Schiötz ausgeführt in der Univ.-Augenklinik zu Königsberg. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXI, 1. S. 201.
Purtscher, Ein Vorschlag hinsichtlich der Gläserkorrektion gewisser Krümmungsfehler der Cornea. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 68.
Schiötz, Ein Fall von hochgradigem Hornhautastigmatismus nach Starextraktion. Besserung auf operativem Wege. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 178.
Schiötz, Ein Fall von Linsenastigmatismus nach Iridektomie. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 283.
Smith, Priestley, Transient astigmatism due to paralysis of ocular muscles. Ophth. Rev. S. 354.
Theobald, S., Notes on three cases of progressive astigmatism. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Twenty-first Meet. S. 29 u. Amer. Journ. of Ophth. II. S. 133 u. 158.
1886. Boucher, Astigmatisme mixte, vertical de plus de 4 dioptries, horizontal de moins de 2 dioptries. Arch. de Méd. et Pharm. mil. VI. S. 481.

1886. Chibret, Loi des déformations astigmatiques de la cornée consécutives à l'opération de la cataracte. Ann. d'Ocul. XCV. S. 209.

Culbertson, Some thoughts on astigmatism of curvature. Amer. Journ. of Ophth. III. S. 114.

Culbertson, On the use of cylindrical glasses in compound astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. S. 14.

Green, On spectacle lenses of asymmetric curvature. Amer. Journ. of Ophth. S. 53.

Jackson, The prescribing of cylindrical lenses. Amer. Journ. of Ophth. S. 20.

Jackson, The equivalence of cylindrical and sphero-cylindrical lenses. Amer. Journ. of Ophth. S. 262.

Martin, Des variations dans le degré et le sens de l'astigmatisme cornéen chez les glaucomateux. Ann. d'Ocul. XCV. S. 206.

Swanzy, On uniformity in the designation of the meridian in astigmatism. Ophth. Rev. S. 208.

1887. Armaignac, A propos de la notation uniforme de l'astigmatisme et des verres cylindriques. Ann. d'Ocul. XCVII. S. 294.

Berlin, Über ablenkenden Linsenastigmatismus und seinen Einfluss auf das Empfinden von Bewegung. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk. S. 1.

Bettrémieux, P., Notes cliniques sur l'astigmatisme. Arch. d'Opht. VII. S. 543.

Boucheron, Sur la notation horaire de l'astigmatisme. Bull. Soc. franç. d'Opht. S. 198.

Burnett, A theoretical and practical treatise on astigmatism. St. Louis.

Chibret, La notation de l'astigmatisme. Arch. d'Opht. VII. S. 421.

Jackson, The effect of placing a lens oblique to the visual axis. Ophth. Rev. S. 247.

Javal, De l'astigmatisme. Ann. d'Ocul. XCVII. S. 323.

Knapp, Change of astigmatism by unequal contraction of different parts of the ciliary muscle. Ophth. Rev. S. 276.

Martin, Etudes sur les contractions astigmatiques du muscle ciliaire. Ann. d'Ocul. CXVII. S. 5, 141 u. 277.

Norton, G. S., Relative importance of small degrees of astigmatism as a cause of headache and asthenopia. Internat. med. Congr. Sect. of Ophth. Amer. Journ. of Ophth. S. 297.

Ottava, J., Szemhejak által befolgásolt fenztöres. Beeinflussung der Refraktion durch die Lider.) Szemészet. S. 38.

Rampoldi, Contribuzione alla genesi ed etiologia delle ectasie pellucide della cornea. Ann. di Ottalm. XVI. S. 115.

Rapport de la commission sur la notation de l'astigmatisme. Bull. Soc. franç. d'Opht. S. 237.

Reymond e Baiardi, Sulla visione nell' astigmatismo. Ann. di Ottalm. S. 498.

Theobald, S., Some instructive cases of astigmatism. Maryland med. Journ. Baltimore. XVII. S. 400.

1888. Chauvel, De la myopie, ses rapports avec l'astigmatisme, étude statistique et clinique. Arch. d'Opht. VIII. S. 193.

Desjardins, E., De la kératoscopie comme moyen de diagnostic dans l'astigmatisme. Gaz. Méd. de Montreal. II. S. 214.

Eissen, Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraocularem Drucke. Arch. f. Ophth. XLIV.

Emerson, Progressive hypermetropic astigmatism. Amer. Ophth. Soc. Amer. Journ. of Ophth. S. 202.

Exner, Über den normalen irregulären Astigmatismus. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIV, 1. S. 1.

Féré et Vignes, Astigmatisme chez les épileptiques. Progr. Méd. S. 452.

1888. Fick, Eine Kontaktbrille. Arch. f. Augenheilk. XVIII. S. 279.
Gordon Norrie, Oftalmologiske smaating: 3. Akut uregelmässig linse-astigmatisme. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Aug.-Sept. und Nord. Oftalm. Tidsskr. I. S. 204.
Gunn, R. Marcus, On the nature of light-percipient organs and of light-perception. Ophth. Hosp. Rep. XII, 2. S. 101.
Hensel, Theorie der unendlich dünnen Strahlenbündel. Journ. f. d. reine u. angew. Math. CII. S. 273.
Imbert, A., L'asymmétrie du crâne et l'astigmatisme. Gaz. Hebd. des Sc. méd. de Montpellier. X.
Jackson, Meridional astigmatism. Amer. Ophth. Soc. Amer. Journ. of Ophth. S. 310.
Knapp, Die Meridianbezeichnung beim Verschreiben von Cylinderlinsen. Bericht über d. 7. intern. Kongress in Heidelberg. S. 423.
Martin, Migraine ophtalmique et astigmatisme. Ann. d'Ocul. XCIX. S. 24.
Roeder, Über die Entstehungsursachen des Astigmatismus. Centralbl. f. Augenheilk. März. S. 158.
Savage, The harmonious non-symmetrical action of the oblique muscles explains binocular astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. S. 245.
Schloesser, Cornealastigmatismus durch einseitige Kompression des Bulbus. Münchener med. Wochenschr. S. 27.
Theobald, Is astigmatism a factor in the causation of glaucoma? Amer. Ophth. Soc. Amer. Journ. of Ophth. S. 298 u. 309.
Zehender, Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 393.
1889. Ahrens, Neue Versuche über anisomorphe Akkommodation. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 291.
Bull, Lunettes et Pince-nez. Etude méd. et prat. Paris, G. Massan.
Bull, Variations de l'astigmatisme cornéen avec l'âge. Soc. franç. d'Opht.
Bull, Variations de l'astigmatisme avec l'âge. Rev. gén. d'Opht. S. 352 u. Rec. d'Opht. S. 547.
Burnett, S. M., Lenticular regular astigmatism. Med. News. Philadelphia. S. 281.
Coggin, Rupture of the choroid. Amer. Journ. of Ophth. S. 68.
Engstad, E., Early detection of astigmatism and presbyopia in children. Northwest Lancet. St. Paul. S. 202.
Gullstrand, A., Eine praktische Methode zur Bestimmung des Astigmatismus der Hornhaut mittelst der sogenannten Denivellierung. Ophth. Tidsskr. II. S. 93.
Hintzi, Proposition d'un nouveau procédé d'astigmométrie. Arch. de Méd. et Pharm. mil. S. 201.
Leroy, Influence des muscles de l'oeil sur la forme normale de la cornée humaine. Arch. de Physiol., Norm. et Path. XXI, 1.
Loiseau, Contribution à l'astigmométrie et notation de l'astigmatisme. Ann. d'Ocul. XI. S. 99.
Mitchell, S., Simple hypermetropic astigmatism of high degree. New York med. Rec. 16. Mars.
Moffat, J. L., Occasional or constant use of cylindrical glasses. Journ. of Ophth., Otol. u. Laryngol. New York. S. 86.
Nordenson, Recherches ophtalmométriques sur l'astigmatisme de la cornée chez les écoliers de 7 à 20 ans. Ann. d'Ocul. LXXXIX. S. 128.
Reymond, Observations relatives à l'évacuation de l'humeur aqueuse. Soc. franç. d'Opht. Séance. 10. août. Rec. d'Opht. S. 561.
Scimemi, Sull' astigmatismo corneale in seguito ad estrazione di cataratta. Ann. di Ottalm. XVIII. S. 299 u. Rendiconto del Congr. della Assoc. Ottalm. Ital. S. 147.

1889. Tenney, Hypermetropic astigmatism. New York med. Rec. 18. Mai.
Wallace, J., The correction of conical cornea. Univ. med. Mag. Philadelphia. S. 231.
1890. Du Bois-Reymond, Keratoskop zur Messung des Hornhautastigmatismus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Sept. S. 257.
Chibret, Astigmatisme selon et contre la règle. Résultats comparés de l'examen objectif (kératométrie, skiascopie) et de l'examen subjectif. Arch. d'Opht. S. 357.
Frothingham, A case of static lenticular astigmatism acquired by the long continued use of spectacles having a faulty position. Journ. Amer. med. Assoc. XV. S. 595.
Galezowsky, De l'astigmatisme irrégulier et de sa correction par les verres coniques. Méd. mod. S. 53 u. 644.
Gullstrand, Beitrag zur Theorie des Astigmatismus. Skand. Arch. f. Physiol. II. S. 269.
Hotz, A simple and reliable ophthalmometer. Journ. Amer. med. Assoc. XIV.
Jackson, Increase of hyperopic astigmatism. Med. News. S. 390.
Leplat, Un instrument pour contrôler l'orientation des verres cylindriques. Arch. d'Opht. XI. S. 26.
Martin, G., Sur le rapport, qui existe entre une variété de la kératite grave, dite scrofuleuse, et l'astigmatisme de la cornée. Ann. d'Ocul. XC. S. 14.
Martin, G., Condition du développement parfait de la vision. Arch. de Physiol. norm. et Path. II. S. 823.
Martin, G., Théorie et clinique de l'amblyopie astigmatique. Ann. d'Ocul. CIV. S. 101.
Martin, G., Amblyopie astigmatique. Condition du développement parfait de la vision. Ann. d'Ocul. CIII. S. 229.
Martin, G., De l'amblyopie des astigmates. Ann. d'Ocul. CIII. S. 5.
Murrell, Some observations on the correction of low degrees of astigmatism. Journ. Amer. med. Assoc. XIV.
Nordmann, Hoher Grad von Asthenopie bei myopischem Astigmatismus. Finska läkaresällsk. handl. XXXII. S. 55.
Pflüger, Ophthalmometrische Beobachtungen. 10. internat. med. Kongr. Berlin.
Roth, J., Über Astigmatismus und Ophthalmometrie. Inaug.-Diss. Zürich.
Trummor, J. R., A means of facilitating the comprehension of some of the phenomenons of astigmatism. Lancet. II. S. 393.
Trummor, J. R., A case of astigmatism having a myopic and a hypermetropic shadow in the same meridian of the same eye. Lancet. I. S. 1424.
Wylie, D. B., Hypermetropic astigmatism and its relation to nervous sick headache, with report of a case. Memphis med. Month. X. S. 10.
1891. Bajardi, Della visione negli astigmatici. Atenea med. Parmense. IV. S. 193.
Bajardi, Una modificazione all' oftalmometro per misurare contemporaneamente i due meridiani principali della cornea. Giorn. R. Accad. di Med. di Torino. XXXIX. S. 56.
Banister, A case of masked astigmatism unmarked by injuries received in a fight with a bear etc. New York med. Journ. 17. Oct.
Dimmer, Zur Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXIX. S. 111.
Fredericq, L., Sur un symptôme subjectif de l'astigmatisme. Univ. de Liège. Inst. de Physiol. Trav. du Lab. de Leon Frédericq. Liège. 1889/90. S. 165.
Helferich, B. H., An account of an ingenious patent containing a practical treatment for conical cornea. Journ. of Ophth., Otol. and Laryngol. S. 182.

1891. Hirschberg, Ein Fall von Hornhautkegel. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 245.

Javal, Mémoires d'ophtalmométrie annotés et précédés d'une introduction. Paris, Masson.

Knaggs, On lenticonus. Lancet. II. S. 657.

Martin, De la correction astigmatique. Ann. d'Ocul. CV. S. 7.

Neuschuler, De l'astigmatisme post-opératoire. Rec. d'Opht. S. 515.

Ostwald, De la force réfringente de la cornée, de l'ophtalmométrie et du cylindre correcteur de l'astigmatisme cornéen. Rev. gén. d'Opht. S. 193.

Ostwald, Einige Worte uber Gläserkorrektion bei Aphakie. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 283.

Reymond, Annotazione sulla visione astigmatica e la sua correzione dinamica. Festschr. f. v. Helmholtz. S. 81.

Ritchie, F. G., A case of regular corneal astigmatism due to wound of the sclerotic. Journ. of Ophth., Otol. and Laryngol. New York. III. S. 167.

De Schweinitz, Astigmatism against the rule. Journ. Amer. med. Assoc. Mai.

Simon, Beiträge zur Lehre vom Astigmatismus, besonders in Hinsicht auf die Sehschärfe. Inaug.-Diss. Straßburg.

Sulzer, La forme de la cornée et son influence sur la vision. Soc. franç. d'Opht. Séance au 6. Mai.

1892. Beccaria, Variazioni delle curve corneali per propulsione del bulbo in avanti. Ann. di Ottalm. XXII. S. 32.

Bettrémieux, Etiologie et curabilité de l'astigmatisme cornéen. Journ. d'Ocul. du Nord de la France. Lille. Nor.

Bull, Über die Beziehung partieller Kontraktionen des Ciliarmuskels zum Astigmatismus. Bericht d. 21. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 145.

Burnett, The general form of the human cornea and its relations to the refraction of the eye and visual acuteness. Transact. Amer. Ophth. Soc. 28. Meet. S. 316.

Cheatham, On astigmatism. Ophth. Rec.

Grandclément, Un cas d'astigmatisme hypermétropique considérable et simulant l'amaurose, survenu à la suite d'une brulure du tiers interne de la cornée. Lyon méd. XIX. S. 403.

Gullstrand, Ein Fall von Lenticonus posterior. Nord. ophth. Tidsskr. V. S. 18.

Harlan, Statistics of the direction of the principal meridians in binocular astigmatism. Transact. Amer. Ophth Soc. 28. Meet. S. 373.

Joly, A., De l'astigmatisme consécutif aux lésions de la cornée. Thèse de Lyon.

Knapp, The law of symmetry of the eyes as manifested in the direction of their meridians; its rule and its exceptions. Transact. Amer. Ophth. Sect. 28. Meet. S. 359.

Knöpfler, Considération sur le traitement et la correction de l'astigmatisme. Arch d'Opht. XII. S. 679.

Koller, The form of retinal images in the astigmatic eye. Transact. Amer. Ophth. Soc. 28. Meet. S. 425.

Marlow, F. W., Temporary hypermetropic astigmatism following an attack of measles. Arch. Ophth. XXI. S. 107.

Martin, Traitement de l'astigmatisme cornéen. Ann. d'Ocul. CVII. S. 422.

Risley, The relative importance of astigmatism in the production of asthenopia. Ann. Ophth. and Otol. I. S. 143.

Roosa, Astigmatism, its relative importance in asthenopia due to errors of refraction. Ann. Ophth. and Otol. IV.

1892. Sulzer, Correction optique du keratocône et de l'astigmatisme irrégulier. Journ. d'Ocul. du Nord de la France. IV. S. 10.

Tweedy, The physical factor in conical cornea. Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. Ophth. Rev. S. 127.

1893. Axenfeld, Über eine eigentümliche Form von unregelmäßigem Hornhautastigmatismus (korrigierbare partielle Hyperopie), kompliziert mit hochgradiger Störung der relativen Akkommodation auf dem befallenen Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 33.

Bajardi, Sul grado d'astigmatismo negli operati di cataratta, specialmente in rapporto col metodo operativo e con le complicazioni avvenute durante e dopo l'estrazione. Ann. di Ottalm. XXII. S. 552.

Beccaria, Variazioni delle curve corneali per propulsione del bulbo in avanti. Ann. di Ottalm. XXII. S. 32.

Berlin, R., Über Astigmatismus des menschlichen Auges und Messung mit dem Ophthalmometer von Javal und Schiötz. Sitzungsber. d. naturf. Ges. zu Rostock. 25. Nov.

Bigler, Anisometropy. Journ. of Ophth., Otol. and Laryngol.

Chevallereau, A., Traitement du keratocône. France méd. S. 353.

Coggin, Notes on the centenial anniversary of the discovery of astigmatism. London Med. and Surg. Journ. Febr.

Dor, Astigmatisme irrégulier. Gaz. des Hôp. de Toulouse. VII. S. 43.

Harlan, Meridians in astigmatism. Arch. of Ophth. XXII, 1.

Jackson, E., Astigmatism following cataract extraction and other sections of the cornea. Journ. of Ophth. S. 286.

Knöpfler, Considérations sur le traitement et la correction de l'astigmatisme. Rev. med. de l'Est. S. 244.

Michel, A., Beitrag zur Frage der Akkommodation. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 223 u. 267.

Ostwald, Recherches expérimentales sur l'influence, que l'éloignement de l'oeil exerce sur la force réfringente du cylindre correcteur dans les différentes formes d'astigmatisme. Arch. d'Opht.

Risley, The relative importance of astigmatism in the production of asthenopia. Ann. of Ophth. and Otol. Jan.

Roosa, The prevalence of corneal astigmatism in eyes with normal acuity of vision, and without asthenopia. Med. Rec. New York. 1892. S. 615.

Schön, Die Funktionskrankheiten des Auges. Wiesbaden.

1894. Ahlström, Oftalmometriska studier. Goteborgs läkaresällsks. förhdl. S. 10.

Andogsky, Klinische Notizen über Astigmatismus und dessen Korrektion in Verbindung mit dem Gebrauche des Ophthalmometers von Javal-Schiötz. (Klinitscheskija sametki ob astigmatisme i ewo isprawlenii w swjasi s upotreblenjem ophthalmometra Javal-Schiötz.) Wratsch S. 988.

Andogsky et Dolganoff, Sur l'astigmatisme et sa correction dans leurs rapports avec l'usage de l'ophtalmomètre de Javal et Schiötz. Ann. d'Ocul. CXII. S. 296.

Bates, A suggestion of an operation to correct astigmatism. Arch. of Ophth. XXIII. S. 9.

Bossalino, Sul tempo della percezione delle forme negli astigmatici. Giorn. d. R. Accad. di Med. di Torino. 3. Serie. XIII. S. 189.

Bull, G. J., Lid pressure on the cornea. Transact. of the eighth internat. ophth. Congr. Edinburg.

Chibret, Etiologie de l'astigmatisme inverse. Soc. franç. d'Opht. 12. Sess. Paris.

Chibret, Un cas de correction astigmatique du cristallin. Arch. d'Opht. XIV. S. 275.

1894. Chisolm, Degrees of astigmatism, however low, when they annoy, should be corrected. Transact. VII. internat. Congr. Edinburg.

Clark, E. S., Irregular astigmatism; with report of cases. Transact. med. Soc. California. St. Francisco. S. 241.

Dolganoff, Über die Veränderungen des Wundastigmatismus der Hornhaut nach der Kataraktextraktion. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 13.

Duerdoth, Über operative Behandlung der kegelförmigen Hornhautverkrümmung. Inaug.-Diss. Kiel.

Elschnig, Über den Keratoconus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 25.

van Fleet, F., Astigmatism and the ophthalmometer. Arch. Ophth. XXIII. S. 50.

Forster, M. L., Compound hyperopic astigmatism with relatively oblique axes. Refractionist. Boston. I. S. 20.

Hess und Diederichs, Skiaskopische Schuluntersuchungen. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 1.

Howe, L., Note on lid pressure as a cause of astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. S. 257.

Jones, The treatment of conical cornea by thermo-cautery. Transact. VII. internat. ophth. Congr. Edinburgh.

Mitchell, A case of astigmatism where the contour of the corneae indicated the axes. Ann. of Ophth. and Otol. St. Louis. III. S. 146.

Mitchell, A novel method of correcting astigmatism. Ophth. Rec. Nashville. III. S. 147.

Steiger, Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraktion. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 98.

Webster, Asthenopia following acute nephritis an diphtheria relieved by glasses correcting hypermetropia and astigmatism. Arch. Rev. New York. XI.

White, The practical value of low-grade cylinders in some cases of asthenopia. Transact. Amer. Ophth. Soc. 30. Meet. S. 153.

Wilson, A note on the action of oblique muscles in astigmatism. Arch. of Ophth. XXIII. S. 276.

Work Dodd, One hundred consecutive cases of epilepsy, their refraction and their treatment by glasses. Brain.

1895. Antonelli, La correzione ottica degli operati di cataratta As. post-operatorio, nuova scatola di lenti per l'esame degli afachici. Ann. di Ottalm. S. 467.

Antonelli, Les phénomènes sciascopiques et la myopie acquise dûe à la sclérose sénile cristallinienne ou à la cataracte commençante. Rec. d'Opht. S. 513.

Faber, Die operative Behandlung des Astigmatismus. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 262.

Fick, A. E., Einiges über Akkommodation. Beiträge z. Augenheilk. Festschrift für Förster.

Green, J., Note on the variations in the power and in the astigmatism of spherical, toric and cylindrical lenses in principal cases of their oblique centrical refraction. Transact. of the Amer. Ophth. Soc. Thirty-first Ann. Meet. New London. S. 329.

Jackson, Increase of hyperopic astigmatism. Med. News. 1890. 4. Oct.

Martin, Le mot »astigmie«. L'astigmie chez les opérés de cataracte. Ann. d'Ocul. CXIII. S. 174.

Parent, Echelle optométrique. Arch. d'Opht. S. 312.

Roosa, D. B. St. J., Astigmatism after cataract extraction. Internat. Clin. Philadelphia. IV. S. 298.

Roure, Du rôle de l'astigmatisme dans la genèse de la cataracte. Arch. d'Opht. XV. S. 44.

Sulzer, Note sur la construction des verres de contact. Soc. d'Opht. de Paris. Rec. d'Opht. S. 42.
Tilley, On crossed cylinders. Chicago Ophth. and Otol. Soc. Amer. Journ. of Ophth. S. 74.
Wray, Remarks on mixed astigmatism. Brit. med. Journ. 15. Sept. 1894.
1896. Bull, Optométrie subjective. Arch. d'Opht. XVI. S. 219.
Henderson, A case of acquired regular corneal astigmatism. Ann. of Ophth. and Otol. July.
Hess, C., Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodationslehre. II. Arch. f. Ophth. XLII, 2. S. 180.
Kriwitzky, W., Über Hornhautastigmatismus nach Iridektomie und einfacher Linearextraktion. (Ob astigmatisme rogowoi obolotschki posle iridektomii i prostoi linnearnoi extraktii.) Diss. St. Petersburg.
Lucciola, J., Traitement chirurgical de l'astigmie. Arch. d'Opht. XVI. S. 630.
Pergens, Relations entre l'astigmatisme unilatéral et le ptosis unilatéral. Presse Méd. Belge.
Pfingst, Corneal measurements after the extraction of cataract. Arch. of Ophth. July.
Pflüger, Traitement opératoire de l'astigmatisme. Clin. Opht. No. 6.
Risley and Thorington, Symmetrical and asymmetrical meridians of the cornea in astigmatic eyes. Journ. of the Amer. Med. Assoc. 16. Nov. 1895.
Roure, De l'astigmatisme bi-oblique et de sa correction. Arch. d'Opht. XVI. S. 241.
Roure, Deux problèmes sur la correction de l'astigmatisme cornéen par les verres cylindres. Ann. d'Ocul. CXV. S. 99.
Stocker, Die Augen der Schüler und Schülerinnen der Stadtschulen von Luzern. Jahresbericht über die Primar- und Sekundarschulen der Stadt Luzern.
Visser, Akkommodation der Astigmatiker. Niederl. Ges. f. Ophth. Sitzung v. 13. Dez. 1896. Ref. Ann. d'Ocul. CXVIII. S. 13.
Weiss, Formation des images par les systèmes astigmates réguliers. Ann. d'Ocul. CXV. S. 259.
1897. Aschheim, H., Über einen Fall von erworbenem Hornhautastigmatismus von 32 Dioptrien. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 108.
D'Aubigné-Carhart, The refraction of the eyes of one thousand school children with particular reference to astigmatism as shown by the Javal ophthalmometer. New York med. Journ. 17. April.
Batten, Conical astigmatism and staphylomata of the sclerotic as a cause of astigmatism. Ophth. Rev. S. 1.
Bocci, Sulla correzione chirurgica dell' astigmatismo. R. Accad. di Med. di Torino.
Bullard, Keratoconus. Amer. Journ. of Ophth. S. 202.
Cicardi, T., Modulo per la designazione delle lenti correttrici delle varie specie di astigmatismo. Ann. di Ottalm. XXVI. S. 558.
Despagnet, Déformation globuleuse de la cornée. Ann. d'Ocul. CXVII. S. 583.
Despagnet, Astigmatisme de 14 Dioptr. sans déformation clinique de la cornée. Ann. d'Ocul. CXVIII. S. 383.
Ellis, Unregelmäßiger Astigmatismus durch Mikroskopieren. Arch. f. Augenheilk. XXXIV. S. 24.
Gradle, H., Zur Korrektion des Astigmatismus durch ungleichmäßige Anspannung des Ciliarmuskels. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLIII. 1. S. 252.
Hess, C., Über das Vorkommen partieller Ciliarmuskelkontraktionen. Arch. f. Ophth. XLIII. 1. S. 257.

1897. Pergens, Relations entre l'astigmatisme unilatéral et le ptosis unilatéral. Presse Méd. Belge. 3. Mai.

Peter, M., Ein Vorschlag zur einheitlichen Bezeichnung der Achsenstellung cylindrischer Gläser. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. Juli. S. 223.

Pfingst, Cornealmessungen nach Extraktion der Katarakt. Arch. f. Augenheilk. XXXIV. S. 24.

Reynolds, Astigmatism. Amer. Journ. of Ophth. S. 150.

Steiger, Zur Ätiologie und Variabilität des Hornhautastigmatismus. Arch. f. Augenheilk. XXXVI. S. 128.

Steiger, Astigmatismus und Schule. Schulhygienische Studie. Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. No. 10.

1898. Baumann, Über Keratoconus. Inaug.-Diss. Erlangen.

Bossalino, La cura chirurgica del Cheratocono mediante il taglio periferico della cornea. Ann. di Ottalm. XXVII. S. 564.

Critchett, Conical cornea treated by the galvano-cautery. Ophth. Rev. S. 156.

Culbertson, Rotation of astigmatism during ophthalmometric examination. Amer. Journ. of Ophth. S. 111.

Evers, Ein Beitrag zur Entstehung von regulärem Hornhautastigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 240.

Gould, Low myopia and astigmatism with sub-conj. haemorrhage. Ophth. Rev. S. 361.

Harlan, A case of kerato-globus. Ophth. Rec. VII, 3. S. 147; VII, 4. S. 200 u. VII, 5. S. 241.

Javal, La prescription des verres doit tenir compte des variations soit favorables soit défavorables, que peut subir la réfraction sous l'influence des verres correcteurs. XII. Congr. internat. Sect. d'Opht. S. 330.

Jennings, A case of hyperopic astigmatism changing to mixed astigmatism after tenotomy of the internal recti muscles. Amer. Journ. of Ophth. S. 19.

Lans, Experimentelle Untersuchungen über Entstehung von Astigmatismus durch nichtperforierende Hornhautwunden. Arch. f. Ophth. XLV. S. 117.

Salis, A., Manuel pratique de l'astigmatisme, sa détermination et sa correction. Paris, Maloine.

Wagenmann, Über einen Fall von Keratoconus mit pulsatorischer Schwankung der Größe der Zerstreuungskreise infolge von Pulsationen der Hornhaut. Arch. f. Ophth. XLVI. S. 426.

1899. Burnett, Swan M., Astigmatism acquired by a change in the curvature of the cornea. Amer. Journ. of Ophth. S. 54.

Clark, C. F., Astigmatism after cataract extraction. Amer. med. Assoc Sect. on Ophth. Ophth. Rev. S. 352.

Knapp, Über die Symmetrie unserer Augen und eine darauf begründete gleichmäßige Bezeichnung der Meridiane. Bericht d. 9. internat. ophth. Kongr. Utrecht. S. 65.

Lapsley, The importance of astigmatism. Ophth. Rec. S. 563.

Maddox, On finding the axes of cylindrical lenses. Ophth. Rev. S. 1.

Pfalz, Über perversen Astigmatismus. Bericht d. 9. internat. ophth. Kongr. Utrecht. Beilageheft z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 22.

Pfalz, Über physiologische Veränderungen der Hornhautwölbung. Ophth. Klin. No. 6.

Reymond, Über die Beeinflussung kleinerer Fehler der Hornhautkrümmung durch operative Maßnahmen. Bericht d. 9. internat. ophth. Kongr. Utrecht. Beilageheft z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 83.

Schneidemann, Very high astigmatism. Amer. med. Assoc. Sect. on Ophth. Ophth. Rev. S. 352.

Verhoeff, Two new astigmatic charts. Ophth Rec. S. 541.

1899. Weber, Studien über operative Behandlung des Astigmatismus. Bericht d. d. 9. internat. ophth. Kongr. Utrecht. Beilageheft z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 96.

1900. Awerbach, Über Linsenastigmatismus. Ges. d. Augenärzte. Moskau. 7. März.

Critchett, Anderson, Zur operativen Behandlung des Hornhautconus. Bericht d. 9. internat. Kongr. Utrecht. Beilageheft z. Zeitschr. f. Augenheilk. II. S. 507.

Gullstrand, Allgemeine Theorie der monochromatischen Aberrationen und ihre nächsten Ergebnisse für die Ophthalmologie. Nova acta Reg. Soc. Sc. Upsala.

Holth, Über subjektive Astigmometrie bei gewissen ophthalmometrischen Verdoppelungsmethoden, speziell beim Kagenaarschen Biprisma. Arch. f. Augenheilk. XLI. S. 175.

Kelly, B. E., Keratoconus. Ophth. Rec. S. 569.

Majewski, Über korrigierende Wirkung des Hydrodiaskops Lohnstein's in Fällen von Keratoconus und unregelmäßigem Astigmatismus. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 162.

Plaut, Über Keratoconus etc. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XXXVIII. S. 65, 258, 334.

1901. Callies, Beitrag zur Lehre vom primären Keratoconus, besonders dem pulsierenden. Inaug.-Diss. Rostock.

Gullstrand, Die Konstitution des im Auge gebrochenen Strahlenbündels. Arch. f. Ophth. LIII, 2. S. 185.

Hummelsheim, Monoculare Diplopie. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg.

Abschnitt XII.

Sehen mit zwei Augen.

§ 185. Der Darstellung des Sehens mit zwei Augen bei Ametropie schicken wir eine kurze Übersicht über die wichtigsten Punkte aus der Lehre vom binocularen Sehen unter physiologischen Verhältnissen voraus, soweit diese für das Verständnis der Pathologie unerlässlich ist; wir verdanken die wesentlichste Förderung auf diesem Gebiete den klassischen Untersuchungen von Hering (1868). Für das Studium der Augenbewegungen unter normalen und pathologischen Verhältnissen ist das Hering'sche Gesetz von der gleichmäßigen Innervation beider Augen von größter Bedeutung. »Die beiden Augen sind bei ihren Bewegungen derart miteinander verbunden, dass das eine nicht unabhängig vom anderen bewegt wird, vielmehr auf einen und denselben Willensantrieb die Muskulatur beider Augen gleichzeitig reagiert. Beide Augen werden, was ihre Bewegungen im Dienste des Gesichtssinnes betrifft, wie ein einfaches Organ gehandhabt. Dem bewegenden Willen gegenüber ist es gleichgültig, dass dieses Organ in Wirklichkeit aus zwei gesonderten Gliedern besteht, weil er nicht nötig hat, jedes der beiden Glieder für sich zu bewegen und zu lenken, vielmehr ein und derselbe Willensimpuls beide Augen gleichzeitig beherrscht, wie man ein Zwiegespann mit einfachen Zügeln leiten kann.

Dieses Gesetz gilt insbesondere auch für jene Augenbewegungen, wo z. B. bei unsymmetrischer Convergenz scheinbar nur ein Auge innerviert wird, während das andere unbewegt bleibt, also für die sogenannten »einseitigen willkürlichen Augenbewegungen«. Solche sind nicht eben selten; bei einiger Übung gelingt es vielen Menschen bei festgehaltener Blickrichtung eines Auges die Convergenz des anderen innerhalb weiter Grenzen zu mehren oder zu mindern. Dies geschieht aber nicht durch ungleiche Innervation, sondern in der Weise, dass »jedes Auge von zwei verschiedenen Innervationen getroffen wird, deren eine auf Wendung beider Augen nach rechts oder links, deren andere auf eine Einwärts- oder Auswärtsdrehung beider Augen gerichtet ist. Indem diese beiden Innervationen des Doppelauges sich in einem Auge gegenseitig unterstützen, im anderen aber entgegenwirken, muss die wirklich eintretende Bewegung in beiden Augen notwendig eine verschiedene sein.« In vielen Beziehungen können wir beide Augen durch ein einziges, imaginäres Auge (»Cyklopenauge« HERING's) repräsentiert denken, welches in der Mitte zwischen beiden wirklichen Augen gelegen ist. Ein Augenpaar wird im allgemeinen so innerviert, wie ein solches imaginäres Auge innerviert werden müsste, um eine bestimmte Veränderung der Blickrichtung oder der akkommodativen Einstellung herbeizuführen; im letzteren Falle hat die betreffende Innervation nicht nur eine innere Akkommodation beider Augen, sondern auch eine äußere Einstellung beider Gesichtslinien für Nähe oder Ferne zur Folge.

Die Blickrichtung dieses Doppelauges kann durch eine Linie wiedergegeben werden, die den Blickpunkt mit einem in der Mitte zwischen beiden Augen gelegenen Punkte verbindet. Wir bezeichnen sie als die binoculare Blicklinie.

Dem großen Werte einer derartigen, zuerst von HERING entwickelten Betrachtungsweise kann es keinen Abbruch thun, wenn sich bei dem Versuche, ihr eine streng mathematische Form zu geben, in einzelnen Fällen gewisse Schwierigkeiten ergeben. HERING selbst sagt: »Wir dürfen uns nicht vorstellen, dass dieses Gesetz mathematisch genau erfüllt ist, sondern es nur als ein Schema ansehen, dem die Wirklichkeit sehr nahe kommt«.

Die Koordination der Bewegungen beider Augen glaubten früher VOLKMANN, später insbesondere v. HELMHOLTZ als ein im individuellen Leben erworbenes Ergebnis fortgesetzter Einübung auffassen zu müssen. HELMHOLTZ sagt z. B. in Bezug auf die fraglichen Bewegungen: ». . . so lässt sich doch leicht zeigen, dass die Gesetzmäßigkeit dieser Verbindungen nur auf Einübung beruht«. Demgegenüber hat HERING überzeugend dargethan, dass die Gesamtheit der hier in Betracht kommenden physiologischen Erscheinungen nur verständlich wird, wenn die fragliche Koordination angeboren ist. Wir werden im folgenden mehrfach Gelegenheit haben, zu zeigen, dass das Gleiche auch für zahlreiche pathologische Verhältnisse gilt.

Schon Johannes Müller hatte die Association der Augenbewegungen für angeboren gehalten; Hering erbrachte einen direkten Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme unter anderem durch die Untersuchung der Augen Neugeborener. Im Hinblick auf mehrfache irrige Angaben in der Litteratur, selbst der letzten Jahre, mögen Hering's Beobachtungen hier kurz erwähnt werden.

Zur Untersuchung sind solche Neugeborene zu wählen, deren Schlaf durch längere Perioden einer ganz spontanen Munterkeit unterbrochen ist, wobei sie die Augen durch längere Zeit hinreichend offen halten. »Man überzeugt sich dann leicht, dass die Augen vorherrschend Parallelbewegungen ausführen, während bei den Bewegungen anderer Teile und insbesondere den mimischen Bewegungen die symmetrische Association deutlich ausgeprägt ist. Man findet ferner auch die Association zwischen der Hebung der Augen, der Lider und des Kopfes sowie die Association zwischen Seitwärtswendung der Augen und des Kopfes schon deutlich ausgesprochen. Seltener zeigen sich die symmetrischen Bewegungen der Augen (Convergenz- und relative oder schwache absolute Divergenzbewegungen).« Rählmann und Witkowsky haben diese Angaben Hering's in allen wesentlichen Punkten bestätigt. Donders und Engelmann nahmen binoculare Fixation mit Veränderung der Convergenz bei einem männlichen Kinde kaum eine Stunde nach der Geburt wahr und beobachteten ein Kind, das wenige Minuten nach der Geburt einen vorgehaltenen Gegenstand sehr bestimmt binocular fixierte und nicht allein demselben bei seitlichen Bewegungen folgte, sondern auch bei Annäherung die Convergenz vermehrte und bei Entfernung des Gegenstandes verringerte«. Das anatomische Substrat für diese Associationen haben wir in der centralen Kontaktverbindung der verschiedenen Kerne der motorischen Nerven der Augenmuskeln zu suchen: Bach und Bernheimer haben gezeigt, dass im Gebiete des Oculomotorius- und Trochleariscentrums überall die Dendriten der Ganglienzellen der einen Seite weit zwischen jene der anderen Seite hinüberreichen, sodass ein inniger Kontakt der paarig angeordneten Kernhaufen zustande kommt. Die vorderen Vierhügel, durch deren Reizung an verschiedenen Punkten Adamük eine Reihe von associierten Augenbewegungen hatte auslösen können, sind nach Bernheimer nicht als ein Reflexcentrum für die Augenbewegungen zu betrachten, denn nach Abtragung der vorderen Vierhügel bis zum Aquaeductus Sylvii (beim Affen) fand er bei intakter Kernregion immer noch spontane symmetrische Blickbewegungen beider Augen; erst nach Durchtrennung der paarigen Kernregion der Augenmuskeln durch einen sagittalen Medianschnitt hörten die associierten Bewegungen auf; es bewegte sich jetzt nur noch jedes Auge für sich.

§ 186. Wir untersuchen zunächst die Innervation der Ciliarmuskeln beider Augen. Die Frage nach der Möglichkeit einseitiger, bezw. ungleicher Akkommodation ist durch lange Zeit Gegenstand lebhafter Diskussion gewesen. Donders und Hering haben schon vor mehr als 30 Jahren eine Reihe von Beobachtungen mitgeteilt, welche zeigten, dass ein normales Augenpaar ungleicher Akkommodation nicht fähig ist. Demgegenüber stellten Woinow und Schneller die Behauptung auf, dass bei Fixation eines seitlich vorgehaltenen Objektes ungleiche Akkommodation auftrete, da dieses wegen seines verschiedenen Abstandes von den Augen zum gleichzeitigen deutlichen Sehen mit beiden eine solche nötig mache. Das gleiche sollte

nach einer schon von BUFFON geäußerten Meinung, die später von KAISER u. a. vertreten wurde, dann vorkommen können, wenn beide Augen nicht genau gleiche Refraktion haben, also im allgemeinen bei Anisometropie. Dagegen zeigten die Beobachtungen RUMPF's, dass bei Fixieren seitlich nahe vor den Augen befindlicher Gegenstände trotz des Interesses am deutlichen Sehen weder anisometropische noch normale Augenpaare imstande sind, ungleich zu akkommodieren. GRAEFE, SCHWEIGGER u. a. äußerten sich in gleichem Sinne. Indessen haben später auf Grund theoretischer Erwägungen NAGEL, SCHÖN u. a., auf Grund besonderer Untersuchungen SCHNELLER und insbesondere E. FICK an der Annahme des Vorkommens ungleicher Akkommodation festgehalten. Als wesentlichste Stütze ihrer Ansicht führen die Forscher, die das Vorkommen ungleicher Akkommodation beim Normalen behaupten, die Beobachtung an, dass feine Schrift auch dann noch binocular leicht gelesen werden kann, wenn vor das eine der beiden Augen (von gleicher Refraktion) schwache Konvex- oder Konkavgläser gesetzt werden.

Da diese Beobachtung, mit kleinen Variationen, den Grundversuch für alle hierher gehörigen Angaben bildet, möge eine derartige Schilderung von SCHNELLER angeführt werden: »Sah ich nach kleinster (eben erkennbarer) Schrift (z. B. Jag. 1) in bestimmter Entfernung, dann konnte ich vor das eine Auge + oder — Gläser bis zu bestimmter Stärke bringen, ohne dass die Schrift undeutlich wurde, während, wenn die Gläser eine bestimmte Stärke (+ 1,25 bis 2,0 war es damals) überschritten, die Objekte, die kleinen Buchstaben Ränder bekamen und behielten. Bei den Gläsern, die dem Deutlichsehen mit beiden Augen keinen Eintrag thaten, dauerte es immer eine bestimmte Zeit, ehe dieses Klarsehen eintrat, das zu Anfang fehlte, auch war es mit einem Gefühl des Zwanges in einem oder beiden Augen verbunden. Nahm ich dann das Glas vom Auge fort, so sah ich zu Anfang wieder Ränder oder Schatten um die Buchstaben, die sich in merklicher Zeit und mit allmählich weichendem Gefühl des Unbehagens in den Augen verloren. Gerade diese Zeit, die beim Vorsetzen und Wegnehmen der Gläser verging, bis Deutlichsehen der sehr feinen Objekte eintrat, und das Gefühl des Zwanges oder Unbehagens in den Augen scheinen mir dafür zu sprechen, dass es sich wirklich um eine Verschiedenheit in der Akkommodation handelt.«

Bei zweckmäßiger Abänderung der Versuchsanordnung lässt sich aber das Ausbleiben ungleicher Akkommodation bei diesem und ähnlichen Versuchen unschwer nachweisen: Man halte eine möglichst feine Nadel so zwischen Kopf und Papierfläche in der Medianebene, dass die Spitze der Nadel sich etwa 1 cm über der Ebene des Papiers befindet und in der Richtung der zu lesenden Worte gesehen wird. Die Nadel erscheint jetzt beim Lesen der Worte in nahe bei einander gelegenen Doppelbildern. Zugleich ist die Schrift bei einer künstlichen Refraktionsdifferenz von 1,0 Dioptrie ganz deutlich. SCHNELLER schließt daraus, dass beide Augen auf die gelesene Stelle akkommodiert sein müssten. Wäre dies der Fall, so müssten die Doppelbilder der Nadelspitze ganz gleich erscheinen. Dies trifft aber nicht

zu; vielmehr erscheinen sie, auch wenn die Refraktionsdifferenz 1,0 Dioptrie nicht übersteigt, stets ungleich, das eine nahezu vollständig scharf, das andere um so undeutlicher, je größer die Refraktionsdifferenz ist; für den Ausfall des Versuches ist es gleichgültig, ob man die Nadel gleich anfangs vor die Schrift gebracht hat oder erst nach längerem Lesen, sodass die Augen Zeit genug gehabt hätten, ungleich zu akkommodieren. Der Versuch beweist, dass eine ungleiche Akkommodation nicht stattgefunden hat. Dass die Schrift auch dann deutlich erscheint, wenn nur ein Auge scharfe Netzhautbilder erhält, hat seinen Grund darin, dass diese scharf umrissenen Netzhautbilder nach den bekannten Gesetzen des Wettstreites der Sehfelder die mehr verschwommenen Bilder des anderen Auges »besiegen« (was nicht ausschließt, dass unter Umständen auch diese letzteren vorübergehend bemerklich werden können). Auch kann man bei dem Versuche sehr wohl das Gefühl einer Störung des gewöhnlichen Sehens haben, ungefähr so, wie beim Sehen durch eine Brille, deren eines Glas etwas angelaufen oder durch Berühren mit fettigen Wimpern getrübt ist. Vielleicht findet hierin das Gefühl des Unbehagens, welches man bei den Versuchen haben kann, wenigstens teilweise seine Erklärung.

Aus Versuchen am Spiegelhaploskop, die ich gemeinsam mit F. Neumann anstellte, ergab sich, dass die von uns untersuchten emmetropischen Augen nicht imstande waren, eine Refraktionsdifferenz von einem kleinen Bruchteile einer Dioptrie im Interesse des Deutlichsehens mit beiden Augen durch ungleiche Akkommodation auszugleichen. Später hat Koster solche Versuche (mit einigen Modifikationen) angestellt und unsere Ergebnisse im wesentlichen bestätigt. Für anisometropische Augenpaare haben alle bisher mitgeteilten Messungen übereinstimmend zu dem Ergebnisse geführt, dass auch hier eine ungleiche Akkommodation nicht eintritt, selbst dann nicht, wenn es im Interesse des deutlichen Sehens von Vorteil wäre. Beobachtungen von Greeff, Ovio, Axenfeld und Zimmermann haben gezeigt, dass auch in schielenden und in erblindeten Augen die Akkommodation die gleiche ist, wie in dem fixierenden Auge der betreffenden Person. (Greeff untersuchte in der Weise, dass während des Lesens feiner Schrift ein Lineal zwischen Augen und Papier vorgeschoben wurde, durch welches ein Teil der Schrift für das rechte Auge, ein anderer für das linke Auge verdeckt war. Durch ungleiche Akkommodation wäre es bei Anisometropie möglich, die beiden monocular gesehenen Schriftteile gleich deutlich zu sehen. Dies war aber weder bei den künstlich anisometropisch Gemachten, noch bei den von Hause aus Anisometropischen der Fall.)

Es zeigt sich somit, dass bei normaler Thätigkeit des nervösen und des muskulären Teiles des Akkommodationsapparates ungleiche Akkommodation im Interesse deutlichen Sehens nicht erfolgt. Wird eine solche einwandfrei nachgewiesen, so deutet dies im allgemeinen auf krankhafte

Störungen in irgend einem Teile des Akkommodationsapparates; hierher gehört in erster Linie einseitige Akkommodationsschwäche oder -Lähmung als Folge einer teilweisen oder vollständigen Oculomotoriuslähmung. (Ob einseitiger Akkommodationskrampf bei beginnender Kurzsichtigkeit vorkommt, lasse ich dahin gestellt sein.)

Einen eigenartigen, periodisch auftretenden einseitigen Akkommodationskrampf bei cyklischer Oculomotoriuslähmung hat Axenfeld (1901) beschrieben. Dass solche Fälle für die Frage nach dem Vorkommen ungleicher Akkommodation in dem oben besprochenen Sinne nicht in Betracht kommen können, bedarf keiner Erörterung.

§ 187. Wird ein Gegenstand den Augen genähert bezw. von ihnen entfernt, so ist zu seiner Fixation eine Mehrung bezw. Minderung der Convergenz nötig; die hierzu erforderlichen Augenbewegungen bezeichnen wir als Fusionsbewegungen. Zur Fixation eines Gegenstandes in der Medianebene sind symmetrische Fusionsbewegungen erforderlich, zur Fixation aller anderen, nicht in der Medianebene gelegenen Objekte unsymmetrische Fusionsbewegungen (bei welchen aber die Innervation beider Augen doch, wie schon erwähnt, eine gleichmäßige ist). Für die zu diesen Bewegungen nötigen Innervationen hat man bisher meist lediglich ein Convergenzcentrum angenommen. Die Mehrung der Convergenz sollte lediglich durch Erhöhung, die Einstellung auf die Ferne lediglich durch Minderung der Kontraktion der Recti interni zustande kommen. Neuerdings ist aber, insbesondere durch F. B. Hofmann und Bielschowsky eine andere Auffassung vertreten worden, wonach neben dem Convergenz- noch ein Divergenzcentrum anzunehmen wäre, derart, dass bei Convergenzimpuls die Convergenzinnervation verstärkt, die Divergenzinnervation gehemmt wird, und umgekehrt bei Divergenzimpulsen die Divergenzinnervation verstärkt, die Convergenzinnervation gehemmt wird. Eine wesentliche Stütze findet diese Auffassung in den Arbeiten von Hering jun. und Sherrington, aus welchen hervorgeht, dass bei den willkürlichen Bewegungen der Extremitäten zugleich mit der Kontraktion der zu der betreffenden Bewegung nötigen Muskeln ein Nachlass des Tonus ihrer Antagonisten eintritt (»reciproke Innervation«). Ein gleiches Verhalten lässt sich auch für die Seitwärtswendungen des Blickes nachweisen. Nach dieser Auffassung ist das Vorkommen einer »Divergenzlähmung« wohl verständlich, das von Berry, Graefe u. a. in Abrede gestellt, durch Untersuchungen von Parinaud, Uhthoff, Dor, Straub, Sachs, Landolt, neuerdings besonders von Bielschowsky wahrscheinlich gemacht worden ist. Eine solche Divergenzlähmung ist charakterisiert durch die Unmöglichkeit, die Gesichtslinien parallel zu stellen und relativ große Konstanz der Ablenkung bei Seitwärtswendung der Augen sowie durch die Fähigkeit, in einem bestimmten, nahegelegenen Bezirke ohne Hilfsmittel, in der Ferne mit adduzierenden

Prismen im ganzen Blickfelde binocular einfach zu sehen. (Die gleichen Erscheinungen würden auch durch Convergenzkrampf hervorgerufen werden können.)

Ein Maß für die Größe der Fusionsbewegungen können wir (Nagel) auf folgende Weise erhalten:

Fig. 91.

Es sei A der Drehpunkt des linken Auges, C der Mittelpunkt der Grundlinie (d. i. der Verbindungslinie der Drehungsmittelpunkte beider Augen), CD der Durchschnitt der Medianebene des Körpers mit der horizontalen Blickebene. Bei geradeaus gerichtetem Blicke ist die Blicklinie AB des linken Auges der Geraden CD parallel; sie muss um die Winkel ω bezw. 2ω, 3ω, 4ω nach innen gewendet werden, um die Punkte p_1 bezw. p_2, p_3, p_4 der Medianebene zu fixieren; diese Winkel heißen Fusionswinkel. Bezeichnen h_1, h_2, h_3, h_4 die Abstände der Punkte in der Medianebene vom Drehpunkte des linken Auges, so gilt für kleine Winkel: $\sin\omega_1 : \sin\omega_2 : \sin\omega_3 : \sin\omega_4 = \omega_1 : \omega_2 : \omega_3 : \omega_4 = \frac{1}{h_1} : \frac{1}{h_2} : \frac{1}{h_3} : \frac{1}{h_4}$, d. h. die Abstände der in der Medianebene gelegenen Fixierpunkte vom Drehpunkte des Auges verhalten sich umgekehrt wie die Sinus der zur Fixierung dieser Punkte erforderlichen Fusionswinkel, bezw. (bei kleinen Winkeln) umgekehrt wie diese Winkel selbst. Bezeichnet man als Meterwinkel (Mw.) den zur Fixierung eines 1 m vom Auge entfernten Punktes nötigen Winkel (sodass, wenn $AC = d$, der Meterwinkel $Mw = \arcsin\left(\frac{d}{1\,m}\right)$ ist[1]), so wird eine Drehung um 1, 2, 3, 4, .. n Meterwinkel der Fixation eines 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ... $\frac{1}{n}$ Meter entfernten Punktes entsprechen.

Für $h_1 = 1$ m ist $\sin\omega = d$, der Wert des Meterwinkels wechselt also mit der Größe der Grundlinie. Nagel hat für die den häufigsten Längen der Grundlinie entsprechenden Pupillendistanzen von 50—75 mm die Größe des Meterwinkels in Bogengraden berechnet. Es entspricht beispielsweise einem Drehpunktsabstande von 55, bezw. 60 und 65 mm ein Meterwinkel von 1,574, bezw. 1,718 und 1,861°.

Die Ungenauigkeit, die sich ergiebt, wenn man statt der Sinus die Winkel selbst setzt, kommt erst für sehr kleine Fixierpunktsabstände in Betracht. Sie beträgt z. B. erst bei 6,66 cm Abstand des Punktes vom Auge mehr als 1°, bei 5,55 cm mehr als 2°, bei 5 cm Abstand mehr als 3°; dies sind aber Convergenzen, die für das gewöhnliche Sehen nur selten in Betracht kommen. Bei Convergenz auf einen 12 cm entfernten Punkt

beträgt der Fehler, wenn man ω statt $\sin\omega$ setzt, nur 10 Minuten. Eine Tabelle für die Beziehungen zwischen Meterwinkeln und Convergenzgraden bei Pupillendistanzen von 55—75 mm und Convergenzen von 1—16 Mw hat Howe zusammengestellt.)

Entsprechend den für die Akkommodation eingeführten Bezeichnungen unterscheiden wir für die Convergenz einen Fusionsnahepunkt, einen Fusionsfernpunkt und das zwischen beiden gelegene Fusionsgebiet. Die Leistungen des binocularen Fusionsapparates können, gleichfalls in Analogie mit der Bezeichnungsweise bei der Akkommodation, ausgedrückt werden durch die ablenkende Kraft eines Prismas, welches, dicht vor das Auge gehalten, das gleiche leistet, wie der stärkste Convergenzimpuls. Auch die Fusionsbreite (Convergenzbreite, Landolt) lässt sich durch analoge Formeln ausdrücken, wie die Akkommodationsbreite. Bezeichnen wir erstere mit $\mathfrak{F}$, den in Centimetern gemessenen Fusionsfernpunkt, bezw. -nahepunkt mit $\mathfrak{r}$ bezw. $\mathfrak{p}$, die entsprechenden Werte in Mw mit $\mathfrak{R}$ bezw. $\mathfrak{P}$ (sodass $\mathfrak{R} = \frac{100}{\mathfrak{r}}$ und $\mathfrak{P} = \frac{100}{\mathfrak{p}}$), so lautet die Formel: $\mathfrak{F} = \mathfrak{P} - \mathfrak{R}$. Ist der Fusionsnahepunkt 5 cm vom Drehpunkte des Auges entfernt, der Fusionsfernpunkt 50 cm, so beträgt die Fusionsbreite $= 20 - 2 = 18$ Meterwinkel. (Die gleiche Bezeichnungsweise ist auch bei pathologischen Fällen bequem anwendbar: Bei einem Strabismus convergens von n Mw liegt der Fusionsfernpunkt in $\frac{1}{n}$ Meter Entfernung und wird durch ein Prisma von $2n$ Mw = ca. $7n$ Grad auf unendliche Entfernung gebracht.)

Im normalen Auge liegt der Fusionsfernpunkt in endlicher Entfernung hinter dem Auge: ein normales Augenpaar kann unter geeigneten Bedingungen eine Divergenz von ca. 5—6° aufbringen. Die Lage des Fusionsnahepunktes scheint beträchtlichen individuellen Schwankungen zu unterliegen und wird in pathologischen Fällen auch vom Baue des Auges beeinflusst. Unter physiologischen Verhältnissen liegt er den Augen wesentlich näher, als der Nahepunkt der Akkommodation; Donders nahm eine »Insufficienz« der Bewegung nach innen an, wenn die Sehlinien nicht in einem Abstande von 2,5" = 6,77 cm zur Kreuzung gebracht werden können. Während der Akkommodationsnahepunkt durch Härterwerden der Linse mit zunehmendem Alter immer weiter vom Auge abrückt, scheint die Convergenzfähigkeit auch im hohen Alter im allgemeinen nicht wesentlich geringer zu sein als in der Jugend.

§ 188. **Die relative Akkommodationsbreite.** Wenn ein normales Augenpaar auf einen n Meter entfernten Punkt konvergiert, so bringt es im allgemeinen auch eine entsprechende Akkommodationsleistung von

$\frac{1}{n}$ Dioptrien auf; umgekehrt geht mit einer Akkommodationsgröße von n Dioptrien im allgemeinen die mittlere Convergenz auf einen $\frac{1}{n}$ Meter entfernten Punkt einher. Es besteht somit ein inniger Zusammenhang zwischen der Innervation der Akkommodationsmuskeln und jener der Adduktorengruppe (= recti interni) des Doppelauges. PORTERFIELD (1759) und JOHANNES MÜLLER (1826) waren der Ansicht, dass dieser Zusammenhang ein absoluter und ganz unlösbarer sei; PLATEAU, E. H. WEBER, VOLKMANN (1846) und RUETE (1841) haben zuerst nachgewiesen, dass unter geeigneten Bedingungen eine Lösung dieses Zusammenhanges innerhalb gewisser Grenzen möglich ist. Wie notwendig und wichtig diese Lösbarkeit ist, erhellt daraus, dass ohne sie schon bei der kleinsten Änderung der statischen Refraktion der Augen ein scharfes binoculares Sehen unmöglich wäre. VOLKMANN's Angaben wurden von DONDERS bestätigt und durch messende Bestimmungen wesentlich erweitert; er machte die ersten Versuche zur Ermittlung der Grenzen, innerhalb deren bei bestimmter Convergenz eine Mehrung oder Minderung der Akkommodation und bei konstanter Akkommodation eine Mehrung bezw. Minderung der Convergenz möglich ist. Der Umstand, dass der fragliche Zusammenhang kein absoluter ist, ändert selbstverständlich nichts an der Thatsache, dass Convergenz und Akkommodation durch eine innige und sehr feste Association miteinander verknüpft sind: Die Gesamtheit der physiologischen wie der pathologischen, bei abnormen Refraktionszuständen zu beobachtenden Erscheinungen, der Zusammenhang zwischen Refraktionsanomalien und Strabismus, die Verhältnisse bei Anisometropie u. a. m. lassen sich, wie HERING überzeugend dargethan hat, nur unter der Voraussetzung verstehen, dass auch diese Association zwischen Akkommodation und Convergenz angeboren und nicht erst (wie HELMHOLTZ annahm) durch Einübung erworben ist.

Den Spielraum, innerhalb dessen die Akkommodation bei festgehaltener Convergenz variiert werden kann, bezeichnen wir nach DONDERS als die **relative Akkommodationsbreite**; den Spielraum für die Veränderlichkeit der Convergenz bei einer bestimmten Akkommodationsgröße nennen wir mit NAGEL die **relative Fusionsbreite**.

Die relative Akkommodationsbreite A_1 lässt sich in Übereinstimmung mit der früher für die absolute angeführten Formel ausdrücken durch die Gleichung $A_1 = P_1 - R_1$, worin P_1 und R_1 das in Dioptrien ausgedrückte Maximum bez. Minimum der bei der gegebenen Convergenz möglichen Akkommodation bedeutet. Die Punkte r_1 und p_1, welche bei der größten für eine gegebene Convergenz möglichen Minderung bezw. Mehrung der jeweiligen mittleren Ciliarmuskelkontraktion eben noch deutlich gesehen werden können, bezeichnet man als relative **Fern-**, bezw. **Nahepunkte**. Daher ist

wieder, wenn der Abstand von r_1 und p_1 vom Auge in Centimetern ausgedrückt wird, $R_1 = \frac{100}{r_1}$ und $P_1 = \frac{100}{p_1}$.

In ähnlicher Weise, wie die relative Akkommodationsbreite in Dioptrien, lässt sich die relative Fusionsbreite $\mathfrak{F}_1$ in Meterwinkeln ausdrücken nach der Gleichung $\mathfrak{F}_1 = \mathfrak{P}_1 - \mathfrak{R}_1$, worin $\mathfrak{P}_1 = \frac{100}{\mathfrak{p}_1}$ und $\mathfrak{R}_1 = \frac{100}{\mathfrak{r}_1}$ sind, wenn $\mathfrak{p}_1$ und $\mathfrak{r}_1$ die in Centimetern gemessenen Abstände der relativen Fusionsnahepunkte, bezw. -Fernpunkte vom Auge bedeuten.

§ 189. Als unocularen Nahepunkt hat man bisher (nach dem Vorgange von Donders) jenen Punkt bezeichnet, der bei verdecktem zweitem Auge und möglichst starker Convergenz noch deutlich gesehen werden kann. Als binocularer Nahepunkt wurde jener Punkt bezeichnet, der bei gleichzeitiger Benutzung beider Augen, also im allgemeinen mit wesentlich geringerer Convergenz der Blicklinien noch deutlich (und einfach) gesehen wird. Allgemein wurde als feststehend angenommen, dass der unoculare Nahepunkt den Augen näher liege als der binoculare, weil bei dem Sehen mit einem Auge eine größere Convergenz und damit eine größere Ciliarmuskelkontraktion aufgebracht werden kann, welche letztere in Vermehrung der Linsenwölbung und Hereinrücken des wirklichen Nahepunktes zum Ausdrucke kommen sollte. Man ging auch hier von der heute nicht mehr haltbaren Voraussetzung aus, dass die Nahepunktseinstellung maximaler Ciliarmuskelkontraktion entspreche (vgl. § 105).

Bei der üblichen Bestimmungsweise der Nahepunktslage wird der Ort der beiden fraglichen Punkte nicht unter genügend übereinstimmenden Versuchsbedingungen ermittelt. Den binocularen Nahepunkt bestimmt man bei einer gegebenen Convergenz und entsprechenden Weite der Pupille, den unocularen dagegen bei im allgemeinen viel größerer Convergenz und entsprechend engerer Pupille. Wenn nun etwa die zu maximaler Linsenwölbung nötige Ciliarmuskelkontraktion schon bei Convergenz auf den »binocularen« Nahepunktsabstand aufgebracht werden kann, sodass weitere Kontraktionen ganz im latenten Gebiete vor sich gehen, so werden letztere keinerlei Einfluss auf die Lage des wirklichen Nahepunktes haben. Wohl aber werden sie, da sie mit entsprechender Pupillenverengerung verknüpft sind, ein Hereinrücken des scheinbaren Nahepunktes bei der üblichen Messungsweise mittels Annäherung feiner Objekte an die Augen zur Folge haben können. In der That hat man früher alle hierher gehörigen Messungen mit Annäherung feiner Leseproben, Drähte, Quecksilberkügelchen u. s. w. vorgenommen. Eine weitere, im gleichen Sinne wie die erste wirkende Fehlerquelle ist folgende: Die von einem punktförmigen Objekte bei nicht völlig scharfer Einstellung auf der Netzhaut entstehenden Zerstreuungsfiguren sind in beiden

Augen desselben Beobachters im allgemeinen etwas voneinander verschieden. Versucht man sie binocular miteinander zu verschmelzen, so können ihre einzelnen Teile nicht alle auf identische Netzhautstellen fallen, die binoculare Zerstreuungsfigur muss also im allgemeinen eine etwas größere Fläche der Netzhaut decken, daher bei Annäherung des Objektes über den wirklichen Nahepunkt dieses früher undeutlich erscheinen lassen als die unoculare: Die Strahlen eines hellleuchtenden Sternes erscheinen mir für jedes einzelne meiner Augen etwas verschieden; der binocular gesehene Stern erscheint mir eine Spur größer und mit mehr hellen Strahlen besetzt als jeder der unocular gesehenen. Auch aus diesem Grunde wird also bei der üblichen Prüfungsweise der binoculare Nahepunkt im allgemeinen in etwas größerem Abstande vom Auge gefunden werden, als der unoculare. Diese Verschiedenheiten sind aber offenbar ziemlich geringe, und es wird danach kein sehr großer Unterschied zwischen unocularem und binocularem Nahepunktsabstande zu erwarten sein. Für die bisher gemessenen Unterschiede zwischen beiden hat sich einmal ein Wert von etwas mehr als 1 Dioptrie ergeben, einmal ein solcher von 1 Dioptrie, in allen anderen Fällen betrug der Unterschied weniger als 1 Dioptrie, oft weniger als 0,5 Dioptrien.

Nach Messungen, die ich an meinen Augen vornahm, beträgt die Pupillenverengerung bei Übergang aus der binocularen in die unoculare Nahepunktseinstellung ca. $^1/_7 - ^1/_5$ des Pupillendurchmessers; diese Differenz darf bei den fraglichen Beobachtungen nicht ohne weiteres vernachlässigt werden, wie dies bisher allgemein geschehen ist. Um ihren Einfluss auszuschalten, nahm ich die Nahepunktsmessungen nach dem Scheiner'schen Prinzip vor.

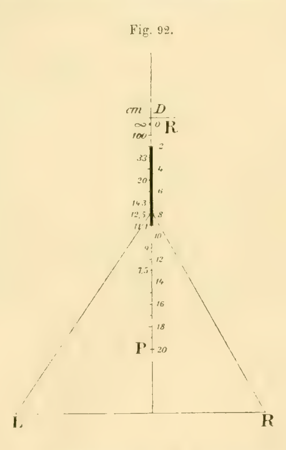
Ich bestimme z. B. für mein rechtes Auge den unocularen Nahepunkt im vertikalen Meridian durch Annähern eines kleinen punktförmigen Fixierobjektes: vor dem Auge ist eine Blende mit 2 senkrecht übereinander befindlichen kleinen Löchern angebracht: nähert man den Fixierpunkt dem Auge noch über den Nahepunkt, so werden 2 kleine Punkte senkrecht übereinander sichtbar. Wird nun das linke, bis dahin verdeckt gewesene Auge geöffnet, so ist im ersten Augenblicke wegen der starken Convergenz links neben den beiden ersten ein drittes, einfaches Pünktchen sichtbar, das leicht durch Minderung der Convergenz mit einem der ersten verschmolzen wird. Von den jetzt sichtbaren beiden Pünktchen wird also z. B. das untere binocular, das obere unocular gesehen. Ebenso, wie vorher den unocularen, kann man nun den binocularen Nahepunkt bestimmen, indem man das Fixierpünktchen so weit vom Auge entfernt, bis die durch die Blende gesehenen beiden Punkte in einen zusammenfließen.

Ich fand so, dass binocularer und unocularer Nahepunkt gleichweit von meinen Augen entfernt sind. Im Hinblicke auf die vorher erwähnten Fehlerquellen ist es zum mindesten sehr wahrscheinlich, dass auch bei anderen normalen Augen der wirkliche unoculare Nahepunkt nicht näher liegt als der wirkliche binoculare. Der allgemein angenommene Satz, dass

die unoculare Akkommodationsbreite größer sei als die binoculare, ist somit durch die früheren Untersuchungen nicht einmal wahrscheinlich gemacht, geschweige bewiesen. Die übliche Scheidung zwischen unocularem und binocularem Nahepunkte ist prinzipiell nicht gerechtfertigt, insoweit damit gesagt sein soll, dass die Linsenwölbung im ersten Falle stärker sei als im zweiten. Wenn aber die früher gemessenen Unterschiede zwischen binocularer und unocularer Nahepunktslage allgemein auf die oben besprochenen Fehlerquellen zu beziehen sind, so ist diese Scheidung unzweckmäßig und wird daher besser aufgegeben.

§ 190. Das der totalen Akkommodationsbreite entsprechende absolute Akkommodationsgebiet eines Auges können wir durch eine Gerade RP darstellen; teilen wir diese in 20 gleiche Teilstrecken, so würde innerhalb des manifesten Teiles der Akkommodationsbreite jede Teilstrecke einer solchen Kontraktionsgröße des Ciliarmuskels entsprechen, die eine Refraktionserhöhung des Auges um 1 Dioptrie bedingt. Das einer bestimmten Convergenz entsprechende relative Akkommodationsgebiet möge durch Fig. 92 (nach Mauthner) veranschaulicht werden. Bei einer Convergenz von 30°, die (für eine Pupillendistanz von 68 mm) der Einstellung der Augen auf einen in 12,5 cm Abstand befindlichen Punkt entspricht, wird im allgemeinen eine mittlere Akkommodation im Betrage von 8 Dioptrien aufgebracht. Bei unveränderter Convergenz kann aber in diesem Falle die Akkommodation einerseits bis auf 9 Dioptrien gesteigert, andererseits bis auf 2 Dioptrien gemindert werden. Den ersteren Teil, also die bei gegebener Convergenz durch Steigerung der Ciliarmuskelkontraktion noch mögliche Refraktionserhöhung bezeichnet man als positiven, den zweiten, d. i. die unter gleichen Umständen durch Entspannung des Ciliarmuskels noch mögliche Refraktionsverminderung als negativen Teil der relativen Akkommodationsbreite.

Fig. 92.



Dieser von Donders vorgeschlagenen Darstellungsweise hat man hier und da die Berechtigung absprechen wollen. Mauthner bezeichnet eine solche Einteilung des Akkommodationsgebietes als eigentlich unstatthaft (wenn er auch sich selbst ihrer bedient); er meint, wenn die Muskelkontraktion um die gleiche Einheit zunehme, so müsse die resultierende Brechkraftvermehrung um so schwächer werden, »je weiter die Zusammenziehung des Muskels vorgeschritten, je mehr der Nahepunkt an das Auge herangerückt« sei. Wir werden im folgenden verschiedene Gründe kennen lernen, die gegen diese Ansicht Mauthner's sprechen; nach unseren heutigen Kenntnissen erscheint es sehr wohl gerechtfertigt, anzunehmen, dass im manifesten Akkommodationsgebiete gleiche Refraktionserhöhungen ungefähr gleichen Zunahmen der Kontraktionsgroße des Ciliarmuskels entsprechen. Innerhalb des latenten Akkommodationsgebietes sind dagegen alle Ciliarmuskelkontraktionen ganz ohne Wirkung auf die Refraktion.

Der Nachweis, dass die Convergenz von der Akkommodation innerhalb gewisser Grenzen gelöst werden kann, lässt sich auf verschiedenen Wegen erbringen.

1. Geübte Beobachter können ohne alle Hilfsmittel diese Lösung herbeiführen: Schon E. H. Weber hat bemerkt, dass er einen entfernten leuchtenden Punkt nach Belieben scharf oder in mehr oder weniger großen Zerstreuungskreisen sehen konnte, ohne dass er aufhörte, ihn binocular einfach zu sehen.

2. Konvergiert man auf einen in bestimmter Entfernung befindlichen Punkt, so kann man diesen auch dann noch binocular einfach und vollkommen scharf sehen, wenn vor beide Augen schwache Konvex- bezw. Konkavgläser gebracht werden. Das stärkste Konvex- bezw. Konkavglas, mit welchem in der gegebenen Entfernung noch binocular einfach und scharf gesehen wird, ergiebt die Lage des relativen Fern- und Nahepunktes. Nach dieser Methode haben zuerst Donders und Mac Gillavry, später Bisinger, Schleich u. a. die relative Akkommodationsbreite messend bestimmt.

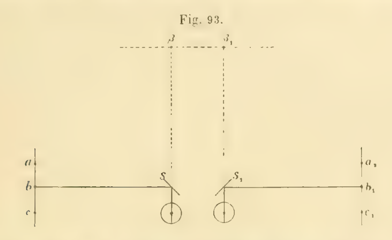
Hat man umgekehrt auf einen in bestimmtem Abstande befindlichen Punkt akkommodiert, so sieht man ihn auch dann noch binocular einfach und scharf, wenn man die Augen durch Vorsetzen schwacher Prismen mit der brechenden Kante nach innen oder außen zu einer Mehrung oder Minderung der Convergenz veranlasst. Die stärksten Prismen mit nasal- bezw. temporalwärts gerichteter brechender Kante, bei welchen der Punkt noch einfach und scharf gesehen wird, geben das Maß für die relative Fusionsbreite.

3. Wesentlich genauer und vollständiger als mit den unter 2 angegebenen Methoden lassen sich relative Akkommodationsbreite und Fusionsbreite mittels des Hering'schen Spiegelhaploskopes untersuchen: jedem Auge wird ein besonderes Gesichtsfeld dargeboten, der Inhalt beider Gesichtsfelder wird vereint im Sehfelde zur Erscheinung gebracht. Die Methode hat vor

jener mit Gläsern und Prismen den großen Vorzug, dass bei unveränderter Convergenz die Akkommodation, sowie bei unveränderter Akkommodation die Convergenz nicht sprungweise wie bei den anderen Methoden, sondern ganz allmählich innerhalb weiter Grenzen variiert wird, und dass die durch die chromatische und astigmatische Wirkung der Prismen und der sphärischen Gläser bedingten, zum Teile nicht unbeträchtlichen Fehler wegfallen. Da der Apparat sich für zahlreiche Untersuchungen auf dem Gebiete des binocularen Sehens wie auch für klinische Beobachtungen besonders zweckmäßig erweist, so füge ich eine kurze Beschreibung desselben bei.

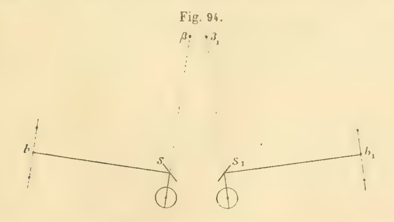
Vor jeder der beiden horizontalen und zunächst parallel angenommenen Gesichtslinien befindet sich ein um 45° zu ihr geneigter kleiner Spiegel (s und

Fig. 93.



s_1 Fig. 93). Die beiden gleichen Sehobjekte liegen je auf einer vertikalen Ebene abc, $a_1 b_1 c_1$, welche ebenfalls zur Ebene des zugehörigen Spiegels unter 45° geneigt ist und ihm auf einem Schlitten genähert oder von ihm entfernt

Fig. 94.



werden kann. Spiegel und Bildebene einer Seite sind je auf einem Gestelle befestigt, das um eine vertikale Achse drehbar ist, deren gedachte Verlangerung durch den Drehpunkt des bezüglichen Auges geht; bei der Drehung des Gestelles

ändert sich also weder die Lage der Zeichnung zum Spiegel, noch die Lage des letzteren zum Drehpunkte des Auges, wenn der Kopf durch einen Halter fixiert ist. Sind b und b_1 die dem Fixationspunkte entsprechenden Punkte der beiden Zeichnungen, so müssen die Gesichtslinien, wenn der Apparat die durch Fig. 93 versinnlichte Stellung hat, parallel stehen, um auf die Spiegelbilder β und β_1 dieser Punkte zu treffen; hat aber der Apparat eine Stellung, wie in Fig. 94, so müssen die Gesichtslinien zu demselben Zwecke convergieren.

Zu klinischen Untersuchungen gut geeignet ist die von Pereles (1889) bei seinen Messungen benutzte Form des Instrumentes. (Von einfacheren Apparaten, mit welchen zwar nicht so genaue Messungen, insbesondere auch nicht in solchem Umfange, wie mit dem geschilderten, vorgenommen, wohl aber klinisch brauchbare Beobachtungen erhalten werden können, sei das von Bull modifizierte Holmes'sche Stereoskop (1900) erwähnt.)

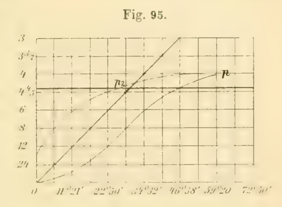
Um die Werte der relativen Akkommodationsbreite bei verschiedenen Convergenzen graphisch zu verzeichnen, benutzte Donders ein Koordinatensystem, in welchem als Ordinaten die Convergenzen in Graden, als Abscissen die Abstände der relativen Fern- bezw. Nahepunkte in Zollen eingetragen waren; Nagel verzeichnete als Abscissen die in Dioptrien ausgedrückten Nahe- bezw. Fernpunktsabstände, als Ordinaten die Convergenzen in Meterwinkeln. Pereles und Halsch schlugen, da die Größe des Meterwinkels mit dem Pupillenabstande variiert und da die Vorstellung von Convergenzgraden vor jener des Meterwinkels jedenfalls den Vorzug größerer Anschaulichkeit hat, ein zweckmäßigeres Koordinatensystem vor, dessen wir uns im folgenden vorwiegend bedienen; es gestattet die Akkommodationsgrößen in Dioptrien und die Convergenzgrößen in Winkelgraden direkt abzulesen; außerdem erlaubt es auch leicht die Einführung des Meterwinkels, indem man von den Durchschnittspunkten der Abscissen mit der die »Convergenzlinie« darstellenden Diagonalen Ordinaten gezogen denkt, die die Abscissenachse in so viele Meterwinkel teilen, als die Ordinatenachse in Dioptrien geteilt ist. Die von Donders als Convergenzlinie bezeichnete Gerade hat die Bedeutung, dass die ihr zugehörigen Abscissen und Ordinaten solche Werte der Convergenz und Akkommodation ausdrücken, welche beim Sehen von Gegenständen in der Medianebene von emmetropischen Augen geleistet werden.

§ 191. Wir haben die relative Akkommodationsbreite definiert als den Spielraum, innerhalb dessen bei gegebener Convergenz die Akkommodation willkürlich gemehrt oder gemindert werden kann, die relative Fusionsbreite als den Spielraum, innerhalb dessen bei gegebener Akkommodation die Convergenz sich mehren oder mindern lässt. Da der Zusammenhang zwischen Convergenz und Akkommodation ein wechselseitiger ist, so fallen die Grenzen der relativen Akkommodationsbreite mit jenen der relativen Fusionsbreite zusammen: Die relativen Nahepunkte der Akkommodation entsprechen den relativen Fernpunkten der Fusion und umgekehrt.

Man hat bisher allgemein geglaubt, dass die nach dem Vorgange von Donders von vielen Forschern mitgeteilten sogenannten »Kurven der relativen Akkommodationsbreite« in ihrer ganzen Ausdehnung eine direkte Beziehung zwischen Convergenz und Akkommodation ausdrückten in dem Sinne, dass für die Lage eines jeden Kurvenpunktes die Größe der bei einer bestimmten Convergenz möglichen Ciliarmuskelleistung mitbestimmend sei. Dabei ist wieder der Fehler einer nicht genügend scharfen Scheidung zwischen Nahepunktseinstellung und maximaler Ciliarmuskelleistung gemacht worden, die man beide unter der Bezeichnung »maximale Akkommodation« zusammenwarf.

Aus der bekannten Donders'schen Kurve für ein emmetropisches Auge (Fig. 95) entnehmen wir z. B., dass bei konstant bleibender Akkommodation von 5 Dioptrien die Convergenz zwischen ca. 5° und 29° geändert werden kann. Bei einer Convergenz von ca. 17° würde die Akkommodation der betreffenden Person alle Werte von ca. 2 Dioptrien bis nahe an 8 Dioptrien annehmen können. Bei Convergenz von ca. 30° würde wohl noch eine beträchtliche Entspannung, dagegen nur eine sehr geringe Steigerung der »Akkommodation« möglich sein. Alle diese Kurven besagen, dass die bei einer gegebenen Convergenz noch mögliche Zunahme der Akkommodation bei höherer Convergenz allmählich immer kleiner und erst bei Einstellung auf den unocularen Nahepunkt = 0 werde.

Fig. 95.



Nun wissen wir, dass selbst in jungen Jahren leicht stärkere Ciliarmuskelkontraktionen aufgebracht werden können, als zur Nahepunktseinstellung nötig sind, und dass diese, da die Zonula dann ganz erschlafft ist, die Form der Linse nicht mehr zu beeinflussen vermögen. Zweitens sahen wir, dass die übliche Unterscheidung eines binocularen und eines unocularen Nahepunktes aus heute nicht mehr haltbaren theoretischen Voraussetzungen hervorgegangen ist und dass beide bei einwandsfreier Messungsweise gleichweit vom Auge entfernt gefunden werden.

Diese beiden Thatsachen kommen bei der graphischen Darstellung der relativen Akkommodationsbreite darin zum Ausdrucke, dass die sogenannten »Kurven« nach oben hin durch eine zur Abscissenachse parallele, der Einstellung auf den wirklichen Nahepunkt entsprechende Gerade abgeschnitten werden müssen. Sie heiße kurz die Nahepunktsabscisse (in Fig. 95 als stärkere Linie eingetragen). Sie teilt das ganze relative Akkommodationsgebiet in einen unteren manifesten und einen oberen latenten Abschnitt.

Von messbaren Beziehungen zwischen Convergenz und Akkommodation kann bei unseren heutigen Untersuchungsmethoden nur im unteren Abschnitte die Rede sein, denn nur hier können Änderungen der Ciliarmuskelkontraktion auch in Änderungen der Linsenwölbung zum Ausdrucke kommen. In dem nach oben von der Nahepunktsabscisse gelegenen Abschnitte können die Beziehungen zwischen Convergenz und Ciliarmuskelkontraktion sehr wohl ganz ähnliche oder genau die gleichen sein, wie im manifesten Gebiete, ohne dass dies objektiv durch unsere Messungen nachweisbar wäre. Der Verlauf der Kurve ist also schon von dem Grenzpunkte zwischen manifester und latenter Akkommodation an ganz unabhängig von der Ciliarmuskelkontraktion und lediglich durch die Eigenform der Linse bei völlig entspannter Zonula bestimmt, daher die Kurve hier durch eine Gerade abzuschneiden.

Die bekannten »Kurven« der relativen Akkommodationsbreite geben somit ein unzutreffendes Bild von dem physiologischen Zusammenhange zwischen Convergenz und Akkommodation, indem die verschiedenen Kurvenabschnitte ganz verschiedenen Beziehungen entsprechen. Wenn in diesen Kurven der »unoculare« Nahepunkt höher zu liegen kommt, als der »binoculare«, sodass die Verbindungslinie beider nach rechts oben hin ansteigt, so ist dies lediglich auf die oben erörterten Fehler bei der üblichen Messungsweise zu beziehen, insbesondere darauf, dass die Ermittlung des ersteren bei engerer Pupille erfolgt, als die des letzteren.

Entsprechende Betrachtungen für die relativen Fernpunkte ergeben, dass die »Kurve« der relativen Akkommodationsbreite nach unten hin durch eine horizontale Gerade abgeschnitten werden dürfte, die wir kurz als Fernpunktsabscisse bezeichnen wollen, da sie der Fernpunktslage des Untersuchten entspricht. Für Emmetropie fällt sie mit der Abscissenachse zusammen. (Auf die Erörterung gewisser Möglichkeiten, wonach diese Linie etwas zur Horizontalen geneigt verlaufen könnte, soll, bei dem Mangel genügender Kenntnisse über das Verhalten des Ciliarmuskels bei der Fernpunktseinstellung, hier nicht weiter eingegangen werden.)

Untersucht man nun, ob die bisherigen »Kurven« wenigstens in ihrem mittleren, manifesten Abschnitte, der zwischen Fern- und Nahepunktsabscisse liegt, als zutreffender Ausdruck der Beziehungen zwischen Convergenz und Akkommodation angesehen werden können, so zeigt sich, dass auch dies nicht in genügendem Maße der Fall ist. Die zu einer »Kurve« verbundenen relativen Nahe- und Fernpunkte sind nicht bei genügend übereinstimmenden äußeren Bedingungen ermittelt, um ohne weiteres zu einander in Beziehung gebracht werden zu dürfen: In erster Linie kommt in Betracht, dass die Grenzpunkte der relativen Fusionsbreite bei einer Akkommodation von 1 oder 2 Dioptrien stets mit merklich weiterer Pupille gemessen werden, als jene bei einer Akkommodation von 8 oder 9 Dioptrien.

Nach der üblichen Messungsweise muss aber das relative Fusionsgebiet aus naheliegenden Gründen bei enger Pupille unter sonst gleichen Verhältnissen größer erscheinen als bei weiter.

Da auch noch andere Fehlerquellen früher nicht genügend berücksichtigt waren, so habe ich neue Messungen mit einer Methode vorgenommen, bei welcher jene Fehler im wesentlichen ausgeschaltet sind. Ich bediente mich dazu wieder des Scheiner'schen Prinzips; die Messungen wurden mit Hilfe eines zu meinen Zwecken adaptierten Hering'schen Haploskopes vorgenommen. Ich bestimmte teils bei festgehaltener Convergenz die relative Akkommodationsbreite, teils bei festgehaltener Akkommodation die relative Fusionsbreite. Es ergab sich, dass sowohl die relativen Nahepunkte wie auch die relativen Fernpunkte im manifesten Gebiete annähernd auf einer zur Convergenzlinie parallelen Geraden liegen.

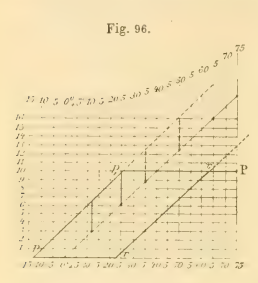
Will man das nach dieser Methode erhaltene Liniensystem mit den üblichen »Kurven« vergleichen, so ist vor allem zu berücksichtigen, dass der gegenseitige Abstand der zu einander gehörigen Nahe- und Fernpunkte (der relativen Fusionsbreite) hier schon deshalb merklich kleiner ist als dort, weil hier angenähert der wirkliche, dort aber nur der scheinbare Nahe- bezw. Fernpunkt ermittelt wird. Vergleichende Messungen ergaben mir in der That, dass bei Bestimmung mit Leseproben meine relative Akkommodationsbreite für alle Convergenzen größer war, als bei Untersuchung nach dem Scheiner'schen Prinzip; die Differenzen zwischen den Ergebnissen beider Messungen werden um so größer, je stärker Akkommodation und Convergenz, je enger also die Pupille ist.

Nach diesen Thatsachen wäre also zu erwarten, dass die scheinbaren relativen Nahe- und Fernpunkte bei der üblichen Messungsweise im großen und ganzen um 2 nach oben leicht divergierende Gerade angeordnet gefunden würden. Viele der genaueren, ja selbst einige der älteren, mit unvollkommneren Methoden erhaltenen Kurven zeigen in der That annähernd ein solches Verhalten, so z. B. die von W. Schmiedt (1896) mit dem Hering'schen Haploskop ermittelten Diagramme. Da Ähnliches sich bei mehreren anderen Kurven erkennen lässt, so dürfte wohl allgemein gelten, dass die wirklichen relativen Nahe- und Fernpunkte ungefähr auf zwei zur Convergenzlinie parallelen Geraden liegen. Dies besagt, dass im manifesten Akkommodationsgebiete die relative Fusionsbreite für alle Convergenzen angenähert gleiche Größe hat, mit anderen Worten, der Spielraum, innerhalb dessen die Convergenz von der zugehörigen Akkommodation gelöst werden kann, ist im wesentlichen unabhängig von der absoluten Größe der Akkommodation.

Ebenso ist der Spielraum, innerhalb dessen die Akkommodation bei festgehaltener Convergenz gemehrt oder gemindert werden kann, unabhängig von der absoluten Convergenzgröße, so lange die entsprechenden Ciliarmuskelkontraktionen ganz im manifesten Gebiete vor sich gehen.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass die gleichen Beziehungen, wie zwischen Convergenz und Akkommodation auch zwischen Convergenz und Ciliarmuskelkontraktion bestehen, sodass in betreff dieser letzteren die aufgestellte Gesetzmäßigkeit nicht nur für das manifeste Gebiet, sondern allgemein, also auch für das latente, Gültigkeit hat. Jedenfalls lassen sich mit einer solchen Annahme, für die sich auch aus dem folgenden eine weitere Stütze ergiebt, die bisher bekannten Thatsachen in einfacher und ungezwungener Weise erklären. Graphisch lässt sich diese Gesetzmäßigkeit durch folgendes Schema darstellen (Fig. 96, einer Akkommodationsbreite von 10 Dioptrien entsprechend):

Fig. 96.



Alle relativen Nahe- und Fernpunkte liegen auf je einer zur Convergenzlinie parallelen Geraden $pp_,$ und $rr_,$; diese beiden Geraden werden durch eine der Nahepunktseinstellung entsprechende »Nahepunktsabscisse« $p_,r_,$ in einen oberen und einen unteren Abschnitt geteilt, die im allgemeinen verschiedene Größe haben. Das gegenseitige Größenverhältnis beider wird in erster Linie durch das Alter des Untersuchten bestimmt: mit zunehmendem Alter wird der untere Abschnitt kleiner, der obere größer. Ersterer entspricht dem manifesten, letzterer dem latenten Teile des gesamten Akkommodationsbereiches. Nach unten finden die Liniensysteme im emmetropischen Auge ihre natürliche Begrenzung in der Abscissenachse. Durch die unbestimmte Begrenzung der zur Convergenzlinie parallelen Geraden nach oben hin ist angedeutet, dass uns noch alle Kenntnisse über die Beziehungen zwischen angenähert maximalen Convergenzen und Ciliarmuskelkontraktionen fehlen, da letztere auch bei verhältnismäßig jugendlichen Personen sich vollständig im latenten Gebiete abspielen, daher für unsere heutigen Messungsmethoden unzugänglich sind.

Die Beziehungen zwischen Convergenz und Ciliarmuskelkontraktion würden sich in folgender Weise veranschaulichen lassen:

Bei einer Convergenz von 12°, entsprechend einer mittleren Ciliarmuskelkontraktion im Betrage von 3 Dioptrien, ist eine Zunahme dieser Leistung um 3,5 Dioptrien möglich, die auch in einer entsprechenden Refraktionszunahme auf ca. 6,5 Dioptrien zum Ausdrucke kommt. Auch bei einer Convergenz von 25°, entsprechend einer mittleren Ciliarmuskelkontraktion im Betrage von ca. 6,5 D., kann diese um 3,5 Dioptrien gesteigert werden. Da sie noch ganz im manifesten

Gebiete vor sich geht, so kann auch sie noch in einer Refraktionsvermehrung um ca. 3,5 Dioptrien, also auf 10 Dioptrien zum Ausdrucke kommen. Anders bei den höheren Convergenzgraden. Mit einer Convergenz z. B. von 35° ist eine mittlere Ciliarmuskelkontraktion im Betrage von nicht ganz 9 Dioptrien verknüpft. Auch wenn hier ein gleich großer Zuwachs an Ciliarmuskelkontraktion (im Werte von ca. 3,5 Dioptrien) aufgebracht werden kann, wie bei den geringeren Convergenzen, so kann dies doch durch Refraktionserhöhung nicht mehr vollständig zum Ausdrucke kommen, denn schon bei einem Zuwachse um etwas mehr als 1 Dioptrie erschlafft die Zonula (da die Akkommodationsbreite des Beobachters nur 10 Dioptrien beträgt), und alle weitere Ciliarmuskelkontraktion ist latent. Die mit einer Convergenz von 40° verknüpfte mittlere Ciliarmuskelkontraktion entspricht einer Akkommodationsgröße von 10 Dioptrien; der ganze mögliche Zuwachs an Ciliarmuskelkontraktion liegt im latenten Akkommodationsgebiete. Auch wenn hier der nämliche Zuwachs im Werte von 3,5 Dioptrien noch leicht aufgebracht werden kann, so vermag er doch keine Refraktionserhöhung mehr herbeizuführen, da die Zonula schon ohne ihn erschlafft war.

Entsprechendes gilt für die relativen Fernpunkte. Mit einer Convergenz von 65° kann eine mittlere Ciliarmuskelkontraktion im Werte von 16 Dioptrien verknüpft sein; von diesen können aber nur 10 Dioptrien manifest werden. Es könnte also eine Entspannung des Ciliarmuskels im Gesamtwerte von 6 Dioptrien statthaben, ohne dass diese durch eine Änderung der Fernpunktslage bemerklich würde. Bei größeren Convergenzen müssen daher für die Messung die relativen Nahe- und Fernpunkte zusammenfallen. Beide liegen dann auf der »Nahepunktsabscisse«, innerhalb der Strecke r, P. Diese Strecke wird mit zunehmendem Alter immer größer, indem die Nahepunktsabscisse gegen die Abscissenachse herunterrückt. Bei einer Convergenz von ca. 23°, entsprechend einer mittleren Ciliarmuskelkontraktion im Werte von fast 6 Dioptrien, wird Entspannung des Ciliarmuskels um etwa 6 Dioptrien die Einstellung des emmetropischen Auges auf parallele Strahlen zur Folge haben. Auch bei allen geringeren Convergenzen wird die gleiche Erschlaffung um 6 Dioptrien dieselbe Einstellung zur Folge haben. Dies kommt darin zum Ausdrucke, dass der untere Teil der »Kurve der relativen Fernpunkte« eine mit der Abscissenachse zusammenfallende Gerade darstellt.

§ 192. Die gesamte relative Akkommodations- und Fusionsbreite lässt sich nach dem Gesagten mit einer wesentlich kleineren Zahl von Messungen bestimmen, als bisher möglich war. Hat man Nahe- und Fernpunktslage in der gewöhnlichen Weise bestimmt, so genügt die Ermittlung nur eines einzigen wirklichen relativen Nahe- und Fernpunktes im manifesten Gebiete: Die durch diese beiden Punkte zur Convergenzlinie parallel gezogenen Geraden geben angenähert die Grenzen der relativen Akkommodation an. Für manche Untersuchungen, bei welchen es nicht auf eine große Genauigkeit ankommt, mag die einfache haploskopische Messung mit feinsten Leseproben und konstanter Beleuchtung genügen: Man sucht am Haploskop für eine bequeme mittlere Akkommodationsgröße (etwa 3 Dioptrien für jüngere, 2 Dioptrien für etwas ältere Personen) das Maximum, bezw. Minimum der Convergenz auf, bei welchen eine möglichst kleine Leseprobe eben noch deutlich gesehen werden

kann. Derartige Messungen lassen sich unschwer auch bei Ungeübten in größerem Umfange anstellen; bei wissenschaftlicher Verwertung derselben müssen natürlich die oben erörterten Fehlerquellen entsprechend berücksichtigt werden.

Manche bisher unverständliche Beobachtungen werden durch die mitgeteilten Thatsachen leicht und befriedigend erklärt. Hier genüge ein Beispiel: In seinen Bemerkungen zu der oben erwähnten) Bisinger'schen Arbeit wies Nagel auf den nach den damaligen Anschauungen ganz unverständlichen Umstand hin, »dass bei Einstellung auf den binocularen Nahepunkt abduzierende Prismen, noch dazu von ansehnlicher Stärke, überwunden werden.« Mit Recht sah er darin einen direkten Widerspruch mit der Donders'schen Definition des binocularen Nahepunktes, welcher letztere ja der Punkt sei, »bis zu welchem bei zunehmender Annäherung des Fixierobjektes und bei stärkster Anstrengung die Akkommodation noch der an Leistungsfähigkeit überlegenen Convergenz zu folgen vermag«. »Bei minderer Convergenz kann die Akkommodation auf jenen Punkt gar nicht mehr eingenommen werden.« Nagel fand keine befriedigende Lösung für diesen Widerspruch; nach dem oben Gesagten ist die Thatsache nicht nur verständlich, sondern a priori zu erwarten, wie die Betrachtung des Diagramms ohne weiteres ergiebt: Das Maximum der möglichen Linsenwölbung wird nicht erst bei Einstellung auf den »unocularen«, ja auch nicht bei der auf den sogenannten »binocularen« Nahepunkt erreicht, sondern kann vermöge der Lösung des Zusammenhanges zwischen Convergenz und Ciliarmuskelkontraktion schon bei etwas geringerer Convergenz aufgebracht werden. Dieses Beispiel zeigt von neuem die schon oben betonte Unzweckmäßigkeit der Unterscheidung eines »binocularen« und »unocularen« Nahepunktes.

§ 193. Die Abnahme der absoluten Akkommodationsbreite im Alter kommt bei unseren Diagrammen darin zum Ausdrucke, dass die Nahepunktsabscisse immer tiefer, d. i. näher zur Abscissenachse heranrückt, um schließlich, wenn die Akkommodationsfähigkeit = 0 geworden ist, beim Emmetropischen mit der Abscissenachse zusammenzufallen. Das latente Akkommodationsbereich wird im Alter immer größer; bezüglich der im manifesten Bereiche nachweisbaren Änderungen scheint bis jetzt nur das eine festzustehen, dass sowohl die Linie der relativen Nahepunkte als die der relativen Fernpunkte zur Convergenzlinie heranrückt, d. h. die relative Fusionsbreite wird im höheren Alter kleiner gefunden, als in jungen Jahren. Sie entspricht z. B. bei einer Akkommodation von 3 Dioptrien in Wirklichkeit ist sie, wie wir gesehen haben, bei allen Akkommodationswerten im manifesten Gebiete ungefähr gleich groß nach den mit größerer Genauigkeit gemessenen Kurven:

im Alter von 22 Jahren (PERELES) 47° Winkelgraden
» » » 36 » (HESS) 25°
» » » 44 » (DONDERS) 12°

(Inwieweit etwa eine strenge Gesetzmäßigkeit für diese Abnahme besteht, ist bis jetzt nicht genügend bekannt; genauere Untersuchungen in der oben angedeuteten Weise könnten darüber Aufschluss geben.)

Für unsere Anschauungen über die Akkommodation bei zunehmendem Alter ist von besonderer Bedeutung das Verhältnis des Abstandes der Nahe- und Fernpunktslinie von der Convergenzlinie, d. h. das Verhältnis zwischen positivem und negativem Teile der relativen Akkommodation in den verschiedenen Lebensaltern. DONDERS hat die Ansicht aufgestellt, dass »bei Abnahme der Akkommodationsbreite mit zunehmenden Jahren sich die Kurven des emmetropischen Auges, schon ehe die eigentliche Presbyopie ihren Anfang nimmt, denen der hypermetropischen Augen nähern«. Er deutete dies so, dass durch die in erhöhtem Maße durch die verminderte Akkommodationsbreite nötig gewordenen Anstrengungen schon die Fähigkeit, bei mäßiger Convergenz einen großen Teil derselben in Anwendung zu bringen, erworben worden ist«. Diese Auffassung entspricht aber weder den bis heute vorliegenden Messungen, noch findet sie, wie ich meine, in den klinischen Thatsachen eine Stütze. Eine Verschiebung der Nahe- und Fernpunktslinien bei zunehmendem Alter in dem Sinne, wie sie bei Hypermetropie erfolgt, ist aus den bisher bestimmten Kurven nicht nachzuweisen. Das Verhältnis zwischen Größe des positiven und negativen Teiles der relativen Fusionsbreite, auf das es hier allein ankommt, ist z. B. nach der Kurve des 44 Jährigen (DONDERS) kein merklich anderes als für den 36 Jährigen (HESS) oder den 26 Jährigen (HALLER in der BISINGER'schen Arbeit). Vergleichen wir aber die Kurve von DONDERS mit der des 22 Jährigen (PERELES), des 28 Jährigen (SCHLEICH) oder des 34 Jährigen (DOYER), so ist die Verschiebung sogar der DONDERS'schen Voraussetzung entgegengesetzt: Die Kurve des 22jährigen Emmetropischen würde sich noch eher dem Typus der hypermetropischen nähern, als die des 44 Jährigen. (Dabei ist zu bemerken, dass die Augen von DONDERS nach seinen Angaben sogar »für senkrechte Linien eine Spur von Hypermetropie« besaßen.)

Das bisher vorliegende Material gestattet uns also lediglich die Feststellung einer Abnahme der relativen Fusionsbreite mit dem Alter, giebt aber keine Anhaltspunkte für die Annahme, dass im Alter die relative Akkommodationsbreite des Emmetropischen jener bei hypermetropischen Augen ähnlich werde.

Diese Annahme ist neben der nicht ausreichenden Genauigkeit der früheren Messungsmethoden zum Teile darauf zurückzuführen, dass bei Bestimmung einer verhältnismäßig kleinen Zahl von Punktpaaren bei manchen Kurven ein für eine

etwas größere Convergenz gefundener relativer Fernpunkt ohne weiteres durch eine Gerade mit dem »unocularen« Nahepunkte verbunden wurde, wodurch leicht unzutreffende Vorstellungen in dem angedeuteten Sinne veranlasst werden können.

Auch die klinische Erfahrung scheint mir der DONDERS'schen Voraussetzung nicht genügend zu entsprechen. Letztere macht u. a. die Annahme nötig, dass die Beziehungen zwischen Convergenz und Größe der zugehörigen Ciliarmuskelkontraktion bei jedem Menschen von Jahr zu Jahr sich ändern. Wir müssten danach bis ins Alter immerzu lernen, mit der gleichen Convergenzinnervation einen immer größer werdenden Akkommodationsimpuls zu verknüpfen. DONDERS selbst hat diese Folgerung gezogen, denn er schreibt: »Der Zusammenhang zwischen Convergenz und Akkommodation kann nicht stabil angeboren sein, weil, bei Verminderung der Akkommodationsbreite, in Bezug zur Convergenz, letztere sich stärker und stärker anstrengen, und so der Zusammenhang im Laufe des Lebens sich fortdauernd modifizieren muss.«

In den maßgebenden Werken über Refraktionsanomalien finden wir sehr verschiedene Anschauungen über das Sehen der Presbyopischen. DONDERS meinte: »Das Auge spannt seine Akkommodation schon ziemlich stark an (noch stärkere Anspannung hat keine verhältnismäßige Wirkung), ohne Hindernis oder irgend eine Ermüdung.« MAUTHNER glaubte, dass die in der bekannten DONDERS'schen Kurve der (absoluten) Akkommodationsbreite für den Presbyopischen verzeichneten Nahepunkte gar nicht den Nahepunkten im üblichen Sinne entsprechen, denn er schreibt: »DONDERS giebt für ein Alter von 47—48 Jahren eine Akkommodationsbreite von 1/12 an. In praxi ist dies richtig, thatsächlich aber nicht. Der Presbyte von 48 Jahren vermag sich eine Linse 1/12 ohne besondere Anstrengung des Akkommodationsmuskels zuzulegen. Diese Akkommodationsbreite ist durchaus nicht das Resultat der äußersten Muskelkontraktion. Die Gestalt der Linse lässt sich ohne besondere Muskelleistung so weit verändern, dass von einem 12″ entfernten Punkte deutliche Netzhautbilder entworfen werden, aber wenn nun der Versuch gemacht wird, stärker zu akkommodieren, so ergiebt sich, dass eine selbst bis zur äußersten Grenze fortschreitende Kontraktion des Ciliarmuskels die Gestalt der Linse nur so wenig weiter zu ändern vermag, dass gegenüber dieser äußersten Leistung, welche rasch zu Ermüdungserscheinungen führen würde, ein praktischer Erfolg nicht erzielt wird. Der Presbyte verschmäht es daher, seinen Akkommodationsmuskel zur stärksten Leistung anzuspannen, denn er hat von dieser Arbeit nicht den Nutzen, den der jugendliche Hypermetrope aus derselben zieht.«

Bei den meisten späteren Forschern finden wir wieder die Ansicht, dass auch vom Presbyopischen die Nahepunktseinstellung nur durch maximale Ciliarmuskelkontraktion erreicht werde. Ja, diese Anschauung ist mehrfach maßgebend für die Brillenverordnung bei Presbyopie geworden.

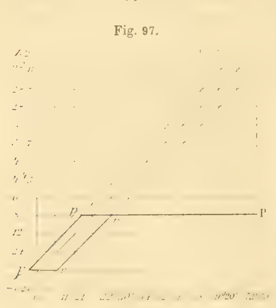
So sagt LANDOLT von einem Emmetropischen mit 2 Dioptrien Akkommodationsbreite, der also in 50 cm noch deutlich sehen kann: Es ist aber nicht wunderbar, dass er nicht lange die Arbeit in dieser Entfernung aushalten kann, da er diese Einstellung nur durch maximale Anstrengung seines Ciliarmuskels erhalten kann.« Zu welchen Konsequenzen diese letztere Ansicht führen würde, möge an einem Beispiele gezeigt werden: Bei einem 10 jährigen Emmetropischen würde die maximale Ciliarmuskelkontraktion eine Refraktionserhöhung im Betrage von 14 Dioptrien, also Einstellung auf einen ca. 7,1 cm vor den Augen gelegenen Punkt zur Folge haben, was (für 64 mm Pupillendistanz) einer Convergenz von fast 50° entspricht. Zur Einstellung auf einen 30 cm entfernten Punkt, entsprechend einer Convergenz von ca. 12°, bedarf dieser Emmetropische einer Ciliarmuskelkontraktion im Betrage von ca. 3,3 Dioptrien. Im Alter von 45 Jahren würde der gleiche Emmetropische zur Einstellung auf 30 cm Entfernung nach jener Auffassung seine maximale Ciliarmuskelkontraktion aufzubringen haben. Es müsste also (unveränderte Leistungsfähigkeit des Ciliarmuskels selbstverständlich vorausgesetzt) der 45 Jährige mit einer Convergenz von 12° eine mehr als 4 mal so große Ciliarmuskelkontraktion verbinden, als im Alter von 14 Jahren. Mit einer und derselben sehr starken Ciliarmuskelkontraktion müsste er in der Jugend eine Convergenz von 50°, mit 45 Jahren eine solche von 12° und in höherem Alter noch geringere Convergenzen verknüpfen lernen. Wenn etwa zwischen dem 60. und dem 70. Jahre die Akkommodationsfähigkeit fast aufgehoben, also auch die stärkste Ciliarmuskelkontraktion fast wirkungslos geworden ist, so wäre entweder die Annahme nötig, dass wir mit jeder, selbst der geringsten Convergenz eine fast maximale und dabei nahezu nutzlose Ciliarmuskelkontraktion aufbrächten, oder aber die, dass wir jetzt, im hohen Alter, wieder lernten, mit bestimmten Convergenzen viel geringere Ciliarmuskelkontraktionen zu verbinden, als 10 oder 15 Jahre früher. Beide Annahmen haben wenig Wahrscheinlichkeit für sich; sie würden auf eine völlige Ableugnung des angeborenen innigen Zusammenhanges zwischen Convergenz und Akkommodation hinauskommen, der uns in den Sehstörungen jugendlicher Hypermetropischer so eindringlich entgegentritt. Betrachten wir ein solches jugendliches, leicht hypermetropisches Augenpaar mit einer Akkommodationsbreite von 12—14 Dioptrien oder mehr, das etwa nur eine um 2—3 Dioptrien (d. i. um $^1/_7$—$^1/_4$) größere Ciliarmuskelkontraktion zum deutlichen Sehen aufbringen soll, als normale Augen: Selbst in der frühesten Jugend, wo sich, nach Ansicht der Empiristen, die fragliche Association zwischen Convergenz und Akkommodation erst entwickeln soll, sind diese Hypermetropischen oft nicht imstande, im Interesse des deutlichen Sehens ein so kleines Missverhältnis auszugleichen; es tritt häufig dynamische Convergenz oder wirklicher Strabismus convergens auf. Und der Erwachsene, der alte Mann, bei dem nach jenen empiristischen Anschauungen die

fraglichen Associationen viel fester geworden sind, wäre imstande, ein um das Vielfache größeres Missverhältnis ohne solche Störungen, ohne nachweisbare Veränderungen des Muskelgleichgewichtes zu überwinden?

Die von uns hier entwickelte Auffassung entspricht, soweit ich sehe, den bisher beobachteten Thatsachen und der klinischen Erfahrung in durchaus befriedigender Weise. Der Umstand, dass nach den vorliegenden Messungen das Verhältnis zwischen positivem und negativem Teile der relativen Akkommodationsbreite sich im Alter nicht merklich in dem von Donders angenommenen Sinne ändert, lässt darauf schließen, dass eine im manifesten Gebiete erfolgende Ciliarmuskelkontraktion von bestimmter Größe in den Jahren der beginnenden Presbyopie keine nennenswert geringere Linsenwölbung zur Folge hat, als in jungen Jahren. Die entgegengesetzte Annahme entbehrt jeder thatsächlichen Grundlage.

§ 194. Nach dem Gesagten ergiebt sich für die beginnende Presbyopie z. B. unter Zugrundelegung der Messungen an den Augen von Donders ein Diagramm vom Typus der Fig. 97. Die Akkommodationsbreite (= manifeste Akkommodation) ist auf ca. 5 Dioptrien reduziert. Das obere Ende der die relativen Nahepunkte verbindenden Linie fällt mit der 5 Dioptrien entsprechenden Abscisse zusammen. Die Convergenzfähigkeit bleibt im Alter im wesentlichen unverändert. Aber die mit größeren Convergenzen verknüpften Ciliarmuskelkontraktionen und ihre Mehrungen und Minderungen bleiben ohne Einfluss auf die Linsenwölbung und damit auf die Lage des wirklichen Nahepunktes. Der sogenannte »absolute« Nahepunkt kommt nach dem Punkte P der bei der üblichen Messungsweise wegen der mit der stärkeren Convergenz verknüpften Pupillenverengerung etwas höher liegend gefunden wird, als p_r; auf der Geraden $p_r P$ liegen alle Nahepunkte für die geringeren Convergenzen bis zu etwa 14°. Bei allen Convergenzen von mehr als ca. 23° fallen die relativen Fernpunkte mit den relativen Nahepunkten in der Linie $r_r P$ zusammen. Bei den geringeren Convergenzen rücken erstere auf der Geraden rr_r abwärts gegen die Abscissenachse. Der Teil $r_r P$ dieser Strecke ist also um so kürzer, je jünger der Beobachter.

Fig. 97.



Donders bestimmte die einzelnen Punkte seiner Kurve, indem er bei festgehaltener Convergenz das Maximum bezw. Minimum der möglichen Akkommodation mit Gläsern ermittelte. Trotz der relativ großen Fehlerquellen dieser Methode stimmt der Charakter der bekannten Kurve für seine Augen Fig. 98 mit dem Typus unseres Diagramms befriedigend überein. Bei der geringen Zahl der ermittelten Punkte kann eine kleine Ungenauigkeit in der Feststellung eines relativen Fernpunktes auf den Verlauf der ganzen Fernpunktslinie von großem Einflusse sein so z. B. in der Donders'schen Kurve bei dem für eine Convergenz von 27° bestimmten Fernpunkte.

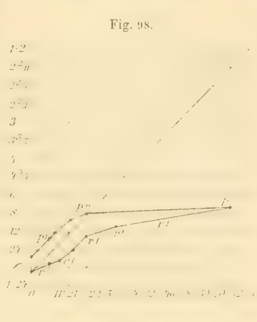


Fig. 98.

Ist die Akkommodation = 0 geworden, so reduziert sich die gesamte Kurve auf eine bei Emmetropie mit der Abscissenachse zusammenfallende Gerade. Bei allen Convergenzen liegen jetzt relative Nahe- und Fernpunkte in der Unendlichkeit. Die manifeste Akkommodation ist = 0, die Beziehungen zwischen Convergenz und Ciliarmuskelkontraktion können dabei aber genau die gleichen geblieben sein, wie in der Jugend.

Die oben erwähnte Abnahme der relativen Fusionsbreite emmetropischer Augen im Alter erscheint aus allgemein physiologischen Gründen verständlich. Der Emmetropische macht während seines ganzen Lebens kaum oder gar nicht von der Fähigkeit Gebrauch, seine Akkommodation von der Convergenz zu lösen: denn mit der Convergenz auf den fixierten Punkt ist die zum deutlichen Sehen nötige mittlere Ciliarmuskelkontraktion gegeben und eine Änderung derselben hat für ihn im allgemeinen keinen Wert, so lange die statische Refraktion des Auges unverändert bleibt. Dass aber die Fähigkeit, eine natürliche Association innerhalb gegebener Grenzen zu lösen, bei fehlender Übung im Alter kleiner wird, als sie in der Jugend war, ist eine bekannte physiologische Erfahrung.

Dass Veränderungen in der Konsistenz der Linse mit zunehmendem Alter hierbei nicht wesentlich in Betracht kommen können, geht eben aus dem Umstande hervor, dass das Verhältnis zwischen beiden Teilen der relativen Akkommodationsbreite im Alter kein nennenswert anderes ist, als in der Jugend.

§ 195. In die meisten Lehrbücher ist der folgende, von Donders aufgestellte Satz übergegangen: »Man kann die Akkommodation nur für eine solche Entfernung längere Zeit festhalten, bei welcher der positive Teil der relativen Akkommodationsbreite im Vergleich zum negativen verhältnismäßig groß ist.« Der Aufstellung dieses Satzes liegt wiederum die Voraussetzung zu Grunde, dass die sogen. Kurven der relativen Akkommodationsbreite

in ihrer ganzen Ausdehnung physiologische Beziehungen zwischen Convergenz und »Akkommodation« ausdrückten; es ist nicht genügend scharf zwischen Akkommodation und Ciliarmuskelkontraktion unterschieden. Führen wir diese Scheidung durch, so verliert der DONDERS'sche Satz seine Bedeutung. Dass er für Presbyopie nicht zutrifft, hat DONDERS selbst erkannt und durch die Hypothese erklärt, dass bei presbyopischen Personen, deren Linse dichter geworden und allmählich vorwärts gerückt ist, »im Verhältnis zu ihrer Größe der positive Teil der relativen Akkommodationsbreite mehr Muskelspannung repräsentiert, als der negative; und es kann daher zwischen beiden Teilen ein viel ungünstigeres Verhältnis bestehen, als im jugendlichen Auge, ohne dass so frühzeitig Ermüdung auftreten muss.« Eine solche Annahme würde aber eine Verschiebung der relativen Nahe- und Fernpunkte zu Ungunsten des positiven Teiles der relativen Abr. (wie bei Hypermetropie) erwarten lassen; da dies aber, wie wir sahen, nicht zutrifft, so ist die fragliche Hypothese hinfällig. Es ist zu prüfen, inwieweit der DONDERS'sche Satz für jugendliche Emmetropische und für Ametropische Geltung hat. Aus der von DONDERS mitgeteilten Kurve für einen emmetropischen 34 Jährigen (DOYER) ersehen wir z. B., dass schon bei der geringen Convergenz von 15°, d. i. auf einen ca. 25 cm entfernten Punkt, der positive Teil der relativen Akkommodationsbreite im Verhältnis zum negativen außerordentlich klein, bei nur wenig größerer Convergenz = 0 ist. Das gleiche trifft nach den üblichen Kurven allgemein bei gesunden Emmetropischen in der Mitte der 30er Jahre zu. Es ist aber bekannt, dass solche in dem mittleren Abstande von ca. 25 cm lange Zeit ohne die geringste Ermüdung arbeiten können; dies widerspricht dem DONDERS'schen Satze, wenn man nicht die 34 Jährigen schon zu den Presbyopischen rechnen will, was wohl nicht angängig ist.

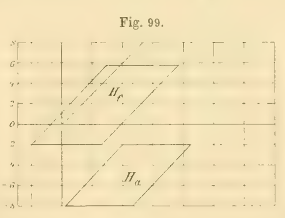
Für jüngere Leute, z. B. den 22jährigen PERELES, ist bei Convergenz von 15°, entsprechend einer Einstellung auf ca. 25 cm Entfernung, das Sehen am wenigsten ermüdend (wie er nach Beobachtungen an sich selbst angiebt). Positiver und negativer Teil der relativen Akkommodationsbreite sind hier angenähert gleich groß. Bei einer Convergenz von 30—35° ist ihr positiver Teil im Vergleiche zum negativen klein geworden. Dieser Convergenz entspricht aber eine mittlere Ciliarmuskelkontraktion im Werte von 8—9 Dioptrien. Wenn hierbei die Einstellung nicht lange ohne Ermüdung festgehalten werden kann, so besagt dies nur, dass starke Ciliarmuskelkontraktionen überhaupt ermüdend sind. Nichts anderes besagt der Satz auch für jugendliche Hypermetropische, für welche Nahe- und Fernpunktslinie dem Grade der Hypermetropie entsprechend in ihrer Lage zur Convergenzlinie nach rechts verschoben sind und die zum deutlichen Sehen bei einer gegebenen Convergenz mehr Ciliarmuskelkontraktion aufbringen müssen, als Emmetropische.

Nach dem Gesagten dürfte es zweckmäßig sein, den Donders'schen Satz zu streichen, da er auf heute nicht mehr haltbare theoretische Voraussetzungen sich gründet und zu missverständlichen Auffassungen über die Beziehungen zwischen Convergenz und Akkommodation Anlass geben kann. Wollte man ihn durch einen entsprechend formulierten ersetzen (was aber kaum nötig oder zweckmäßig erscheint[1]), so müsste dieser etwa folgendermaßen lauten: Für die Abstände, in welchen die Akkommodation längere Zeit ohne Ermüdung festgehalten werden kann, ist lediglich die absolute Größe der dazu nötigen Ciliarmuskelkontraktionen maßgebend; das Größenverhältnis zwischen positivem und negativem Teile der relativen Akkommodationsbreite kommt dafür nicht in Betracht.

(Diese Formulierung schließt, ebenso wie die Donders'sche, nicht die pathologischen Fälle mit Insufficienz der Convergenz ein, bei welchen die Schwierigkeit, andauernd binocular zu sehen, nicht von der Akkommodationsspannung herrührt, sondern vielmehr von der Schwierigkeit, zu konvergieren.[2])

§ 196. Relative Akkommodationsbreite bei Hypermetropie. Der Hypermetropische muss, so lange er nicht korrigiert ist, zum Sehen in jeder Entfernung eine größere Ciliarmuskelleistung aufbringen, als der Emmetropische. Bei schwacher Hypermetropie ist die Lösung des Zusammenhanges zwischen der erforderlichen Akkommodation und der zugehörigen Convergenz in solchem Umfange möglich, dass gleichzeitig binocular und vollkommen scharf gesehen werden kann. Diese Form, welcher nur die niederen Hypermetropiegrade mit genügender Akkommodationsbreite angehören, wird als facultative Hypermetropie bezeichnet. Da solche Übersichtige mit jeder Convergenz eine größere Akkommodationsleistung aufbringen, als Emmetropische, so ergiebt sich für den Typus ihrer relativen Akkommodationsbreite ein Diagramm von nebenstehender Form (Fig. 99, H_f): Die Linie der relativen Nahepunkte ist zur Convergenzlinie herangerückt oder fällt, im Grenzfalle, mit ihr zusammen, die der relativen Fernpunkte ist von ihr weggerückt. Es liegt bisher erst eine einzige von Donders vorgenommene[3]) genauere Messung der relativen Akkommodationsbreite an einem solchen hypermetropischen Augenpaare vor; sie entspricht befriedigend dem nach unseren Voraussetzungen zu erwartenden Typus.

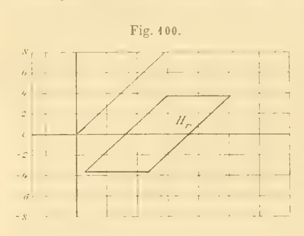
Fig. 99.



Unter der deckenden Hand weicht in solchen Fällen oft das jeweils vom Sehen ausgeschlossene Auge mehr oder weniger weit nach innen ab, kann aber, sobald beide Augen gleichzeitig zum Sehen benutzt werden sollen, die hierzu erforderliche Minderung der Convergenz im Interesse des binocularen Einfachsehens aufbringen, ohne dass der fixierte Gegenstand aufhört, scharf gesehen zu werden.

§ 197. Ist die Hypermetropie etwas höher, so kann der Zusammenhang zwischen der erforderlichen Ciliarmuskelkontraktion und der zugehörigen Convergenz im Interesse scharfen binocularen Einfachsehens nicht mehr in genügendem Umfange gelöst werden; zum deutlichen Sehen in jeder Entfernung ist eine Akkommodationsanstrengung nötig, die nur bei größerer Convergenz aufgebracht werden kann, als zur Einstellung auf den Abstand des fixierten Punktes nötig ist. Solche Hypermetropische haben also zunächst nur die Wahl, den Punkt entweder binocular einfach, aber undeutlich, oder scharf und deutlich, aber infolge der starken Convergenz doppelt zu sehen. Donders bezeichnete diese Form als relative Hypermetropie. Der Typus des Diagramms einer solchen ist dadurch charakterisiert, dass die Linie der relativen Nahepunkte sowohl, wie die der relativen Fernpunkte auf der gleichen Seite (rechts von der Convergenzlinie Fig. 100) liegt. Der Abstand beider Linien voneinander kann dabei der gleiche sein, wie im (gleichalterigen) emmetropischen Auge.

Fig. 100.



Donders fand in diesen Thatsachen die Erklärung für das häufige Auftreten von konvergierendem Schielen bei Hypermetropie, auf das Böhm zuerst aufmerksam gemacht hatte. Hering zeigte, dass darin ein schlagender Beweis liegt sowohl für das Gesetz der stets gleich großen Innervation beider Augen, als auch dafür, dass die Verknüpfung von Convergenz und Akkommodation angeboren ist. Denn wie wäre es denkbar, z. B. bei der Akkommodation für die Nähe einen gleichzeitigen Zwang zur Steigerung der Convergenz der Gesichtslinien anzunehmen, falls es dem Kinde frei stände, das eine Auge unabhängig vom anderen nach außen oder innen zu wenden?

§ 198. Bei noch höheren Graden von Hypermetropie ist selbst bei stärkster Convergenz deutliches Sehen auch in der Ferne nicht mehr möglich.

es wird also ohne Gläser unter keinen Umständen in irgend welchem Abstande scharf gesehen: absolute Hypermetropie. Jede, auch die geringste Hypermetropie wird im höheren Alter absolut, wenn die Akkommodationsbreite = 0 geworden ist. Der Typus dieser Form wird durch das Diagramm Fig. 99 (H_a) wiedergegeben: Die Nahepunktsabscisse liegt nach unten von der Abscissenachse.

So lange die Meinung herrschend war, dass mit zunehmendem Alter die zu einer bestimmten Refraktionserhöhung des Auges nötige Ciliarmuskelkontraktion immer größer werde, lag es nahe anzunehmen, dass die fakultative Hypermetropie jugendlicher Personen später in relative übergehe, und dass noch später aus dieser eine absolute Hypermetropie werde. Wir haben aber gesehen, dass sich keinerlei Thatsachen für eine solche Auffassung anführen lassen; im Gegenteil spricht eine Reihe von Beobachtungen gegen deren Richtigkeit. Wenn aber zu einer bestimmten Refraktionserhöhung im Alter nicht mehr Ciliarmuskelkontraktion nötig ist, als in der Jugend, so wird auch aus der fakultativen Hypermetropie sich nicht eine relative entwickeln, so lange die statische Refraktion der Augen unverändert bleibt; im höheren Alter wird die fakultative Hypermetropie direkt in absolute übergehen. Für die Richtigkeit dieser Auffassung lässt sich in erster Linie die Thatsache anführen, dass erfahrungsgemäß mit zunehmendem Alter die Neigung zu konvergierendem Schielen nicht größer wird, wie es nach jener Auffassung zu erwarten wäre. Wenn wir hier und da noch der Auffassung begegnen, dass latenter und manifester Strabismus convergens Folge von Presbyopie sein könnten, da hier die Innervationsimpulse häufig gesteigert seien, so steht dies ebenso mit unseren klinischen Erfahrungen wie mit unseren heutigen Kenntnissen vom Akkommodationsvorgange in Widerspruch. Man kann gegen die hier vertretene Auffassung nicht vom empiristischen Standpunkte einwenden, dass die fraglichen Hypermetropischen vielleicht im Laufe des Lebens allmählich lernten, die betreffenden Associationen voneinander zu lösen: sind diese doch so innig und fest, dass selbst in der ersten Jugend, wo der ganze Apparat noch viel anpassungsfähiger ist, sie auch bei verhältnismäßig niederen Hypermetropiegraden sich nicht lösen lassen. Nach einer Statistik von Priestley Smith (1899) trat unter 347 Kindern, bei welchen die Zeit des ersten Auftretens von Einwärtsschielen bekannt war, letzteres bei 60 % vor dem 4. Lebensjahre auf, am häufigsten im zweiten und dritten. Unter 55 durch längere Zeit behandelten Fällen waren mehrere mit einer Hypermetropie von 1,5 bis 2,5 Dioptrien. In 51 von diesen Fällen wurden Konvexgläser verordnet und auch getragen (selbst bei einem 14 Monate alten Kinde); von diesen wurden 12 Fälle hierdurch allein geheilt.

Weiter spricht gegen die verbreitete Annahme, dass mit zunehmendem Alter fakultative Hypermetropie in relative übergehe, die Beobachtung, dass

im allgemeinen akkommodativ asthenopische Beschwerden zwischen dem 30. und 40. Jahre nicht stärker und häufiger auftreten, als in früheren Lebensperioden, wie es doch nach jener Auffassung zu erwarten wäre. Die wesentlichste Änderung bei zunehmendem Alter scheint sonach auch für das hypermetropische Augenpaar das Herunterrücken der Nahepunktsabscisse zur Abscissenachse hin (bezw., bei absoluter Hypermetropie, über diese hinaus) darzustellen.

§ 199. Eine eingehendere Untersuchung über die Pathogenese des konvergierenden Schielens überhaupt würde uns viel zu weit führen; ich beschränke mich daher auf die Besprechung der für das binoculare Sehen Hypermetropischer wichtigsten Punkte.

Die Häufigkeit des Vorkommens hypermetropischer Refraktion bei Einwärtsschielen ergiebt sich aus folgenden Zahlen: Donders fand in mehr als 77 %, Isler bei 88 %, Stellwag bei 78 %, Müller bei 76 %, Schweigger bei 66 % solcher Schielender Hypermetropie. Priestley Smith ermittelte (1898) in 310 Fällen von convergierendem Schielen nach Atropin folgende Refraktion:

Myopie	1 %	
Emmetropie bis Hyperm. von 1,5 D.	11 %	
Hyperm. von 2,0 D. bis 3,5 D.	34 %	88 %
» » 4,0 » » 5,5 »	39 %	
» » 6,0 u. mehr	15 %	

(Da auch emmetropische Augen nach Atropin meist leicht hypermetropische Refraktion zeigen, zählte Smith hier alle Fälle von weniger als 2 Dioptrien Hypermetropie zur Emmetropie.)

Vorwiegend sind es (wie auch diese Tabelle zeigt) die mäßigen und mittleren Hypermetropiegrade, die zum konvergierenden Schielen führen, während es bei den höchsten Graden von Hypermetropie viel seltener gefunden wird. Der Schielwinkel entspricht im allgemeinen nicht dem Grade der Hypermetropie, sondern ist wesentlich größer, als nach dem Zusammenhange zwischen Convergenz und Akkommodation zu erwarten wäre. Priestley Smith fand bei Messungen an 239 Fällen, dass zwar der Schielwinkel mit der Hypermetropie wächst, aber nicht in gleichem Verhältnisse; bei geringen Hypermetropiegraden betrug er im Mittel 22° und nahm bei den hohen nur um 8° zu. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Holthouse und Maxwell. Schon Donders bemerkte, dass bei den höchsten Graden von Hypermetropie Einwärtsschielen selten beobachtet werde; doch meint Mauthner, dass auch bei sehr hochgradiger Hypermetropie, wenn sie nur nicht schon in der Jugend absolut war, Strabismus convergens vorkomme und der Procentsatz für Strabismus bei hochgradiger Hypermetropie

wohl kein anderer sein dürfte, als bei Hypermetropie niederen Grades. Ich habe den Eindruck, dass bei Hypermetropie von mehr als 6 D. konvergierendes Schielen verhältnismäßig selten vorkommt.

Wenn wir auch noch in den letzten Jahren Versuchen begegnen, den Zusammenhang zwischen Convergenz und Akkommodation mehr oder weniger vollständig in Abrede zu stellen und auch die Bedeutung der Hypermetropie für die Entstehung konvergierenden Schielens anzuzweifeln, so ist eine besondere Widerlegung solcher Ansichten nach dem im vorhergehenden Mitgeteilten nicht mehr notwendig. Freilich darf man aber in der Hypermetropie nicht die *einzige* Ursache für konvergierendes Schielen sehen oder etwa erwarten, dass alle relativ Hypermetropischen auch Strabismus convergens haben müssten. Thatsächlich finden wir ja solchen auch bei anderen Refraktionszuständen, und sehr viele Hypermetropische haben zu keiner Zeit ihres Lebens geschielt. Eine Reihe von anderen Umständen, deren eingehendere Erörterung nicht an diese Stelle gehört, kann hier mitbestimmend sein; es genüge der Hinweis darauf, dass die *absoluten* Kräfte der in Betracht kommenden Muskeln (Adduktoren und Abduktoren), Ort und Art ihrer Insertion, das Bestehen einer sogenannten »Insufficienz der Externi«, vielleicht auch Schädelbildung und Konfiguration der Orbitae von Einfluss sein können. (Weiss z. B. findet (1894), dass »bei Strabismus divergens die Seitenteile des Gesichts mehr gerade nach vorn gerichtet sind, während dieselben bei Strabismus convergens nach vorn konvergieren«. Bei jugendlichen Hypermetropischen fand er die Orbitaachsen mehr nach vorn gerichtet, während sie bei Kurzsichtigen mehr divergierten.) Donders hat auch dem Verhältnis zwischen der Blicklinie und der in der Mitte der Hornhautbasis errichteten Normalen ($\measuredangle\gamma$) einen Einfluss auf die Entwicklung des konvergierenden Schielens zuschreiben wollen: Da dieser Winkel bei Hypermetropie besonders groß ist und deshalb schon zum Sehen in die Ferne, also mit parallelen Gesichtslinien eine beträchtliche Divergenz der Hornhautachsen erforderlich ist, die relativ schwer aufgebracht werden könne, so werde leicht nicht hinreichend divergiert; dies bedinge dann von selbst, dass auch beim Sehen auf kleinere Abstände leicht zu viel konvergiert werde. Gegen diese Donders'sche Annahme haben Javal und Mauthner begründete Bedenken geltend gemacht; insbesondere betont letzterer, dass die Größe des $\measuredangle\gamma$ mit dem Schielen nichts zu thun haben könne, da er ihn bei schielenden Hypermetropischen *nicht* größer fand, als bei nicht schielenden, und da selbst nach den Untersuchungen Schuerman's, die der Donders'schen Annahme wesentlich zu Grunde lagen, dieser Winkel bei den nicht schielenden Hypermetropischen im Mittel nur um den kleinen Betrag von 1,07° kleiner war, als bei den schielenden.

Bei bestehender Neigung zu konvergierendem Schielen wird dieses sich um so leichter entwickeln, je geringer das Interesse am binocularen

Einfachsehen ist, bezw. je leichter bei eintretender Abweichung eines Auges dessen Eindrücke durch »innere Hemmung« an Gewicht verlieren; dies dürfte im allgemeinen besonders leicht stattfinden, wenn die Netzhautbilder eines Auges z. B. durch Anomalien in den brechenden Medien, wie Hornhautflecke, Linsentrübungen u. s. w., wesentlich undeutlicher sind, als die des anderen.

Mauthner vertrat demgegenüber die Meinung, dass »von einem geringeren Werte des gemeinschaftlichen Sehaktes wegen Amblyopie eines Auges nicht die entfernteste Rede sein kann«. »Dieses letztere Auge unterstützt das zweite genau in der gleichen Weise, ob seine Sehschärfe der des zweiten Auges gleicht oder ob sie geringer ist«. Er lehnt die Annahme als unbegründet ab, dass das Doppelbild infolge von Amblyopie eines Auges leichter unterdrückt und deshalb unter solchen Umständen leichter Strabismus erzeugt werde. Diesen Einwänden kann ich mich nicht anschließen; die innere Hemmung wird nach meiner Meinung bei verwaschenen leichter als bei scharfen Netzhautbildern erfolgen; insbesondere ist es auch nicht zutreffend, dass ein schlechtsehendes Auge das gute ebenso unterstützt, wie ein scharfsichtiges. Dem widersprechen unter anderem schon die bekannten Erfahrungen des Wettstreites der Sehfelder, wo die einem Auge gebotenen scharfen Konturen im allgemeinen den Sieg über undeutliche Netzhautbilder des anderen Auges davontragen.

§ 200. Wir erwähnten schon früher (§ 154), dass im allgemeinen die Korrektion der manifesten Hypermetropie genügt, um die akkommodativ asthenopischen Beschwerden zu beseitigen. Häufig wird hierdurch allein auch das bestehende Missverhältnis zwischen Convergenz und Akkommodation wenn nicht beseitigt, so doch in einem für die Bedürfnisse des Hypermetropischen genügenden Umfange verringert. Sehr auffällig zeigt sich dies bei der relativen Hypermetropie: Wir sehen hier oft ein beträchtliches konvergierendes Schielen in dem Augenblicke schwinden, in dem die entsprechende Konvexbrille aufgesetzt und damit dem Ciliarmuskel die übermäßige Anstrengung abgenommen wird. Dass man in einer Reihe von Fällen Heilung des konvergierenden Schielens durch Vorsetzen von Konvexgläsern allein erzielen kann, ist bekannt. (Ich erinnere z. B. an die oben erwähnten Beobachtungen von Priestley Smith.)

Bleibt auch nach Korrektion der manifesten Hypermetropie noch ausgesprochene dynamische Convergenz oder konvergierendes Schielen bestehen, so kann es von Nutzen sein, stärkere Konvexgläser zu geben, als der manifesten Hypermetropie entsprechen; in manchen Fällen erzielt man erst durch Verordnen der die Hypermetropie vollständig oder angenähert vollständig korrigierenden Gläser genügende Abnahme der Neigung zum Konvergieren.

§ 201. Besondere therapeutische Bedeutung erhält die Frage nach der Brillenverordnung bei jugendlichen Hypermetropischen durch folgendes: Bei

einem großen Procentsatze von Hypermetropischen mit konvergierendem Schielen findet man eine mehr oder weniger starke Herabsetzung der Sehschärfe des schielenden Auges, die man vielfach als Amblyopia ex anopsia, als Folge des Nichtgebrauchs des Schielauges zu erklären versucht hat. Diese vor 30—40 Jahren weit verbreitete Lehre war von SCHWEIGGER, V. GRAEFE und MAUTHNER nachdrücklich bekämpft worden, deren Anschauungen später zahlreiche Anhänger fanden. In den letzten Jahren ist aber eine Reihe von Thatsachen bekannt geworden, die das Vorkommen der Amblyopia ex anopsia einwandfrei darthun. Zunächst ist durch sorgfältige Beobachtungen sicher gestellt, dass nach Entwicklung des konvergierenden Schielens die Sehschärfe des abgelenkten Auges im Verlaufe weniger Jahre beträchtlich zurückgehen kann. Einen überzeugenden Fall dieser Art schildert SACHS: Bei einem 5jährigen Kinde mit alternierendem, erst seit kurzer Zeit bestehendem Schielen war die Sehschärfe an beiden Augen = $^{5}/_{15}$; in der Folgezeit schielte das Kind ausschließlich mit dem rechten Auge; ein Jahr später betrug dessen Sehvermögen nur noch $^{5}/_{60}$, nach $3^{1}/_{2}$ Jahren nur noch Fingerzählen in 5 m (einen ähnlichen Fall erwähnt ROOSA). Auch SCHNABEL wurde durch statistische Untersuchungen zu dem Ergebnisse geführt, dass der Bestand des Schielens im Laufe der Zeit die Sehschärfe herabdrückt.

Mit diesen Erfahrungen über Amblyopia ex anopsia steht die Thatsache in engstem Zusammenhange, dass ein schwachsichtiges, schielendes Auge durch Gebrauch wieder gebessert werden kann. In erster Linie sind es sorgfältige Beobachtungen von JAVAL, BIELSCHOWSKY, HERRNHEISER u. a., die keinen Zweifel mehr darüber lassen, dass selbst ein hochgradig schwachsichtiges Schielauge durch fortgesetzten Gebrauch bedeutende Besserung seiner Sehfähigkeit erlangen kann. Besondere Beweiskraft haben solche Fälle, wo der Kranke nach Verlust seines guten Auges auf den Gebrauch des amblyopischen Schielauges allein angewiesen ist. Bei einem solchen beobachtete BIELSCHOWSKY Hebung der Sehschärfe von $^{1}/_{15}$ auf $^{1}/_{2}$; in HERRNHEISER's Falle stieg im Verlaufe eines Jahres die Sehschärfe von Fingerzählen in 4 m Entfernung auf normale Höhe, in KLEIN's Falle von Fingerzählen in 1 m auf $^{1}/_{3}$; in JOHNSON's Falle soll binnen 18 Tagen die Sehschärfe eines bisher fast unbrauchbaren Auges (S = Finger in 6'' auf $^{20}/_{15}$ gestiegen sein. Weitere hierher gehörige Fälle haben früher PANAS, neuerdings ROGMAN u. a. beschrieben. Diesen Angaben gegenüber ist es nicht wohl angängig, die Besserung des Sehens nur auf die optische Korrektion zurückzuführen, wie SILEX annimmt. Ferner sind hier die mühevollen Untersuchungen JAVAL's zu erwähnen, der durch lange fortgesetzte stereoskopische Übungen auch ohne Schieloperation die Leistungsfähigkeit schielender Augen in einer Reihe von Fällen beträchtlich zu steigern vermochte. Besserung des Sehens nach Schieloperationen beschreiben ROMIÉE, JAVAL,

Vossius u. a. Auch ich habe mich von dem günstigen Einflusse zweckmäßig geleiteter Sehübungen auf die Sehschärfe schielender Augen überzeugen können.

Silex führt gegen die Lehre von der Amblyopia ex anopsia u. a. auch den oft erhobenen Einwand an, dass Kranke, die viele Jahre an grauem Star gelitten hatten, keine Amblyopie zeigen. Er erwähnt zum Belege den Fall einer 83 jährigen Frau, deren eines Auge im Alter von 6 Jahren verletzt und angeblich nie zum Sehen benutzt worden war und die doch sofort nach der Operation gut sah; ähnliche Fälle (die u. a. schon v. Graefe erwähnte) sind wohl vielen Fachgenossen bekannt. Es möge vor allem betont werden, dass bei der Schwachsichtigkeit durch Star die physiologischen Verhältnisse doch etwas anders liegen, als beim Schielauge. Dort hat das Auge ungünstigsten Falles kein Interesse, zu sehen, hier aber ein Interesse, nicht zu sehen, es muss durch innere Hemmung die Eindrücke des Schielauges zu unterdrücken suchen. (Übrigens sind in den letzten Jahren u. a. von Axenfeld und Lobanoff Fälle mitgeteilt worden, wo Starkranke das Sehen verlernt haben sollen.)

§ 202. Die angeführten Erfahrungen an amblyopischen Schielaugen müssen es uns nahe legen, eine möglichst frühzeitige Brillenkorrektion bei hypermetropischen Kindern in allen Fällen zu versuchen, wo unter dem Konvexglase die pathologische Convergenz ganz oder nahezu schwindet. Für die Zweckmäßigkeit eines solchen Vorgehens sprechen neben den vorhin erwähnten Erfahrungen von Priestley Smith z. B. auch jene von Pomeroy, der in 17 Fällen bei Kindern das Schielen durch vollkorrigierende Konvexgläser (bei gleichzeitiger Atropinisierung) heilen konnte, ferner die Angaben von Lang und Barrett, welche in 10 % der Fälle von Strabismus convergens durch Brillen Heilung erzielten (die in 33 % so lange dauerte, als Gläser getragen wurden).

Von anderen Mitteln zur Bekämpfung des konvergierenden Schielens Hypermetropischer in seinen ersten Anfängen führe ich hier die Atropinkuren an. Green hat, soviel ich sehe, zuerst eine Heilung beginnenden Schielens durch solche Kuren beschrieben; man nimmt dabei an, dass die Erfolglosigkeit der Akkommodationsanstrengungen den Patienten zu einem Verzichte auf letztere führe und dass damit auch die associierten Convergenzbewegungen ausbleiben. Solche Atropinkuren scheinen heute nicht mehr viel geübt zu werden; es ist bei ihnen auch stets zu berücksichtigen, dass der gewünschte Effekt immer nur so lange eintreten dürfte, als die Akkommodationsimpulse wirklich vollständig ohne Wirkung sind. In der ganzen Zeit dagegen, während welcher die Ciliarmuskeln durch das Atropin nur geschwächt sind, kann leicht das Gegenteil erfolgen: der geschwächte Muskel erfordert zur Einstellung auf einen gewissen Abstand unverhältnis-

mäßig große Akkommodationsimpulse, die nur mit Hilfe entsprechend gesteigerter Convergenz aufgebracht werden können; der Entwicklung des konvergierenden Schielens kann daher so Vorschub geleistet werden. Auch das vorübergehende Einwärtsschielen, das man zuweilen nach Diphtherie beobachtet, hat DONDERS in ähnlicher Weise auf diphtheritische Akkommodationsschwäche zurückgeführt. Ebenso vertritt JAVAL die Meinung, konvergierendes Schielen Übersichtiger werde in vielen Fällen durch vorübergehende Akkommodationsparese erzeugt.

Nach dem Gesagten würde es, wie ich meine, näher liegen, bei beginnendem Einwärtsschielen Eserin statt Atropin zu versuchen. Dadurch werden für Einstellung auf bestimmten Abstand wesentlich kleinere Akkommodationsimpulse nötig (bezw. werden bei stärkerer Eserinisierung solche ganz überflüssig), und damit auch die Convergenzinnervationen entsprechend kleiner. Einige derartige Versuche hat, wie ich sehe, schon ULRICH (1885) auf Grund ähnlicher Überlegungen angestellt; er fand bei einem 4jährigen Kinde mit Hypermetropie, dass nach Eserineinträufelung während der Dauer der Eserinwirkung das Schielen schwand.

Wenn das (manifeste oder latente) Einwärtsschielen der Hypermetropischen auch durch vollkorrigierende Gläser sich nicht genügend beseitigen lässt, so stehen als weitere Hilfsmittel Decentration der Konvexgläser, ihre Kombination mit Prismen, haploskopische Übungen und endlich Tenotomie eines oder beider Musculi recti interni, bezw. Vorlagerung eines oder beider Externi zur Verfügung (einige Angaben hierüber s. § 208).

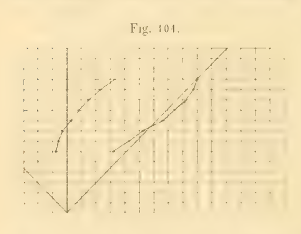
§ 203. Ein in früher Jugend aufgetretenes konvergierendes Schielen verliert sich in einer nicht ganz kleinen Zahl von Fällen später, oft schon zwischen dem 10. und 20. Lebensjahre, von selbst; hiermit hängt wohl auch zusammen, dass von den in früher Jugend wegen konvergierendem Schielen mit Erfolg Operierten einige später mehr oder weniger starkes Auswärtsschielen zeigen. In seltenen Fällen geht sogar Einwärtsschielen später in divergierendes über, ohne dass eine Operation vorgenommen worden wäre. Umgekehrt kommt es nur selten vor, dass (nicht paralytisches) Einwärtsschielen sich erst nach dem 5.—10. Lebensjahre entwickelt. Diese Thatsachen stehen, wie schon früher erwähnt, nicht mit der verbreiteten Annahme in Einklang, dass mit zunehmendem Alter zu einer bestimmten Refraktionserhöhung eine immer größere Ciliarmuskelanstrengung nötig sei.

Eine befriedigende Erklärung für jene spontanen Heilungen des konvergierenden Schielens, die bei der Beurteilung der Wirkung unserer therapeutischen Maßnahmen wohl zu berücksichtigen sind, scheint mir noch auszustehen. Von manchen Forschern (WEISS) wird sie in den Wachstumsverhältnissen der Adnexe des Auges und der Orbita gesucht; ob und in

welchem Umfange eine etwaige Abnahme der Hypermetropie mit den Jahren auf Verringerung des Strabismus von Einfluss ist, müsste erst durch genauere Untersuchungen festgestellt werden. Nach MAUTHNER soll während des Schielens der betreffende Rectus internus krampfhaft kontrahiert sein und dieser Krampf sich später lösen. Wollte man solche krampfhafte Kontraktionen überhaupt annehmen, so müssten sie wohl nach dem Gesetze der gleichmäßigen Innervation auf beiden Internis in gleichem Maße zur Entwicklung kommen; es ist nicht recht einzusehen, warum von zwei gleichstark innervierten Muskeln nur der eine sich krampfhaft zusammenziehen soll; aber es ist gegen diese (insbesondere auch von A. GRAEFE vertretene) Annahme mit Recht geltend gemacht worden, dass mit ihr die Thatsache der ungehinderten Beweglichkeit der meisten Schielaugen bei Seitwärtswendung des Blickes unverträglich ist; (diese »muskuläre« Theorie des Schielens ist hauptsächlich von HANSEN GRUT bekämpft worden, der die Ursache des Strabismus wesentlich in Innervationsstörungen sieht.

§ 204. Untersucht man die relative Akkommodation bei unkomplizierter Myopie jugendlicher Personen, so ergiebt sich zunächst, wie PERELES im Gegensatze zu früheren Angaben nachweisen konnte, dass dieselbe in ihrer absoluten Größe von jener des Emmetropischen nicht verschieden ist. Dagegen zeigt sich eine Änderung der Lage der relativen Nahe- und Fernpunkte zur Convergenzlinie, die aus den geänderten Beziehungen zwischen den an Convergenz und Akkommodation gestellten Anforderungen leicht erklärlich ist. Der Kurzsichtige hat, so lange er nicht korrigiert ist, ein Interesse daran, bei gegebener Convergenz weniger zu akkommodieren, als der Normalsichtige unter gleichen Verhältnissen. Daraus wird sich im allgemeinen eine Verschiebung der Linie der relativen Fernpunkte zur Convergenzlinie hin ergeben; die Linie der relativen Nahepunkte rückt entsprechend von der Convergenzlinie ab. Die von PERELES an einem 22jährigen Kurzsichtigen von 5 Dioptrien aufgenommene Kurve (Fig. 101) entspricht ziemlich gut dem nach jener Voraussetzung zu erwartenden Typus.

Fig. 101.



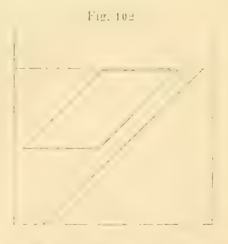
Wenn ein Kurzsichtiger von 4 Dioptrien einen in 25 cm Abstand befindlichen Gegenstand mit einem Auge fixiert, so kann er dies ohne Akkommodationsanstrengung und dementsprechend ohne Convergenzinnervation;

man findet daher das verdeckte Auge häufig dem anderen parallel oder doch viel weniger convergent, als der Einstellung auf 25 cm Abstand entspricht. Wird das zweite Auge geöffnet, so ist in solchen Fällen im allgemeinen bei beiderseits guter Sehschärfe das Interesse am binocularen Einfachsehen groß genug, um die zur Fusion nötige Convergenzbewegung herbeizuführen, die bei den niedrigeren Myopiegraden von der Akkommodation noch so weit gelöst werden kann, dass gleichzeitig scharf und binocular einfach gesehen wird. Man könnte für diese Myopieform nach Analogie mit dem entsprechenden Zustande bei Hypermetropie die Bezeichnung »fakultative Myopie« gebrauchen.

Dass die Parallelstellung der Blicklinien bei Ausschluss eines Auges nicht durchweg und stets in gleicher Weise erfolgt, darf nicht Wunder nehmen; denn der Kurzsichtige hat ja gelernt, auch ohne jede Akkommodation zu konvergieren und übt dies (so lange er keine Brille trägt) Tag für Tag; in welchem Umfange die Lösung (innerhalb der durch die angeborene Verknüpfung gesetzten Grenzen) im einzelnen Falle erfolgt, wird von verschiedenen Umständen, wie Art der Beschäftigung, Fortschreiten der Kurzsichtigkeit, mechanischen Verhältnissen bei Bewegung der Augen u. a. m. abhängen können. Auch ist zu berücksichtigen, dass der sogenannten »Ruhestellung« der Augen keineswegs immer Parallelstellung der Blicklinien entsprechen muss.

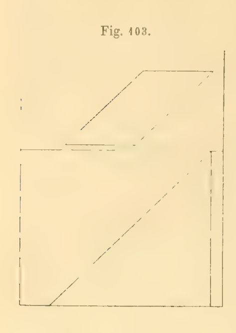
Für etwas höhere Grade von Kurzsichtigkeit ist die zur binocularen Fernpunktseinstellung nötige Convergenzinnervation so beträchtlich, dass mit ihr eine mehr oder weniger starke Ciliarmuskelkontraktion verknüpft ist, die ein deutliches binoculares Sehen im Fernpunkte unmöglich macht. Nach Analogie mit der entsprechenden Form von Hypermetropie könnte man hier von relativer Myopie sprechen. Der Versuch auf den Abstand zu konvergieren, auf welchen bei Convergenz auf den Fernpunkt das Auge akkommodiert, wird wiederum eine Zunahme der Akkommodation veranlassen, hierdurch wird wieder eine erhöhte Convergenz erforderlich und so fort. Gleichzeitiges binoculares und deutliches Sehen ist im allgemeinen ausgeschlossen oder wird erst erreicht, wenn bei Convergenz auf den Nahepunkt die zugehörigen Ciliarmuskelkontraktionen zum Teile latent sind und daher nicht mehr in entsprechender Mehrung der Linsenwölbung zum Ausdrucke kommen können. Diese Verhältnisse lassen sich graphisch durch ein Diagramm von nebenstehendem Typus (Fig. 102) veranschaulichen.

Fig. 102



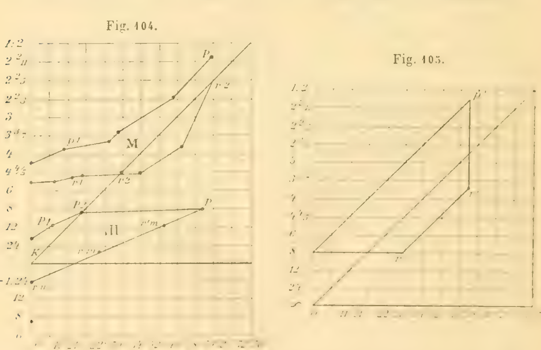
Beträgt die Kurzsichtigkeit mehr als ca. 20 Dioptrien, so kann selbst die Convergenz auf den Fernpunkt unmöglich sein. Nach Analogie mit den Verhältnissen bei Hypermetropie könnte man diese Form als absolute Myopie bezeichnen. Wollte man sie in einem Diagramm wiedergeben, so müsste dies ungefähr die Form von Fig. 103 haben: Das ganze Akkommodationsbereich liegt nach oben von derjenigen Abscisse, welche dem Punkte maximaler Convergenz entspricht. (Ob es etwas mehr nach rechts oder nach links gelegen ist, als in der Zeichnung (willkürlich) angenommen, wird von verschiedenen Umständen, zum großen Teile davon abhängen, wie die Verhältnisse früher lagen, ehe die Kurzsichtigkeit absolut geworden war.) Die Augenstellung beim Fernsehen kann bei allen diesen Myopieformen normal sein.

Fig. 103.



§ 205. Die bisher verzeichneten 3 Typen für die fakultative, relative und absolute Myopie geben die Formen mit ungehinderter Beweglichkeit der

Fig. 104. Fig. 105.



Augen wieder; die Typen können eine wesentliche Änderung erfahren, wenn die Convergenz in gewissem Umfange erschwert ist. Die Unmöglichkeit,

über ein bestimmtes Maß zu konvergieren, kommt graphisch im allgemeinen darin zum Ausdrucke, dass die Linien der relativen Nahe- und Fernpunkte durch eine dem Convergenzmaximum entsprechende Ordinate abgeschnitten werden; Fig. 105 giebt ein Beispiel hierfür. Eine Messung von Donders an einem derartigen Falle (Fig. 104) entspricht unter Berücksichtigung der Fehlerquellen der dabei benutzten Messungsmethoden genügend dieser Voraussetzung. Auch bei solchen Formen kann die Augenstellung für das Sehen in die Ferne noch ganz normal sein.

§ 206. Die sogenannte Insufficienz kann hier nur insoweit erörtert werden, als sie in unmittelbarem Zusammenhange mit Refraktionsanomalien steht. Neuerdings wird für dieselbe vielfach die Bezeichnung Heterophoria (Stevens) gebraucht. Die Begriffe der »Esophorie« und Exophorie entsprechen den Zuständen, die bisher als dynamische Convergenz bezw. Divergenz (dynamisches Schielen nach A. Graefe) bezeichnet wurden, d. h. Einwärts-, bezw. Auswärtswendung eines z. B. durch Verdecken mit der Hand vom Sehakte ausgeschlossenen Auges.) Man hat wohl öfter eine Reihe von Symptomen unter dem Begriffe der Insufficienz zusammengefasst, welchen ganz verschiedene Bedeutung zukommt und die nur zum Teile als pathologische aufzufassen sind:

Wenn ein mäßig Kurzsichtiger ohne Akkommodation das eine Auge auf seinen Fernpunkt einstellt und das andere, vom Sehakte ausgeschlossene, sich dem ersten mehr oder weniger parallel stellt, so ist dies etwas rein physiologisches, von einer »Insufficienz« kann dabei nicht die Rede sein.

In einer zweiten Gruppe von Fällen erfolgt eine Ablenkung des vom Sehakte ausgeschlossenen Auges außerhalb der physiologischen Grenzen, z. B. in der Weise, dass bei in die Ferne sehenden Kurzsichtigen oder auch Emmetropischen das eine Auge unter der deckenden Hand beträchtlich nach außen abweicht. Die Bezeichnung »Insufficienz der Interni« ist für viele dieser Fälle unzweckmäßig, weil die betreffenden Muskeln z. B. bei Seitwärtswendung der Blicklinien sich vollkommen »sufficient« erweisen; deshalb wurde von Landolt die Bezeichnung »Insufficienz der Convergenz« vorgeschlagen.

Auch hier können die Ursachen jener Erscheinung sehr verschiedener Art sein: 1. Die Convergenz könnte etwas schwächer sein als normal, was etwa darin zum Ausdruck käme, dass sie zwar vorübergehend in normalem Umfange aufgebracht, aber nicht genügend lange festgehalten werden könnte. 2. Es könnte eine wirkliche Parese der Convergenz, d. h. Unfähigkeit bestehen, eine Convergenzbewegung von normaler Stärke aufzubringen. 3. Die Convergenzimpulse und die Recti interni könnten normal, aber der Erfolg der Impulse beeinträchtigt sein durch mechanische Erschwerung der Einwärtswendung der Augen, z. B. durch Verlängerung der Augenachsen

oder durch abnorme Widerstände von Seiten der Recti externi u. a. m. 4. Es könnten die Convergenzimpulse normal, aber in einem oder beiden inneren Augenmuskeln selbst Störungen irgend welcher Art vorhanden sein, die eine normale Kontraktion behinderten. Genau genommen dürften nur die letzterwähnten Fälle als »Insufficienz der Interni« bezeichnet werden.

Bei allen diesen Formen kann beim Nahesehen ein Abweichen des vom Sehakte ausgeschlossenen Auges unter der deckenden Hand gefunden werden: »latente« Divergenz, oder aber, es weicht auch beim gleichzeitigen Sehen mit beiden Augen das eine nach außen ab: »manifestes« divergierendes Schielen. In vielen der angeführten Fälle wird infolge der Association zwischen Convergenz und Akkommodation die letztere auffallend gesteigert scheinen und infolgedessen der Convergenz »voranstreben« können. Es ließe sich denken, dass ein in den meisten Punkten ähnliches Bild hervorgerufen würde durch gesteigerte Erregbarkeit der Akkommodation; Reddingius hat ein Krankheitsbild geschildert, das er als solche »genuin gesteigerte Erregbarkeit der Akkommodation« auffasst: Beim Fernsehen der angenähert emmetropischen Patienten bestand »Orthophorie oder geringe Exophorie«, bei scharfem Nahesehen starke Exophorie und asthenopische Beschwerden; mittels konkaver Gläser konnten letztere sofort beseitigt werden.

Unter den von Reddingius genauer mitgeteilten 4 Fällen bestand in dreien deutliches relatives Übergewicht der Divergenz: im ersten wurde ein abducierendes Prisma von 12° überwunden, im zweiten ein solches von 8°, dabei aber adducierende Prismen nur bis zu 8° ertragen, im dritten bestand beim Fernsehen »sehr geringe Exophorie«. (Normalerweise werden abducierende Prismen nur etwa bis zu 5—6°, adducierende dagegen bis zu mehr als 20° überwunden.) In solchen Fällen wird aber, wie wir sahen, bei Convergenzinnervation die Akkommodation »voranstreben« müssen, denn zu dem gleichen Convergenzeffekte ist ein größerer Impuls erforderlich, als beim Normalen; die fraglichen Fälle können somit, wie mir scheint, nicht als zwingender Beweis für das Vorkommen einer genuin erhöhten Erregbarkeit der Akkommodation in dem von Reddingius gewollten Sinne angeführt werden; sie könnten ebenso gut oder vielleicht noch besser und einfacher aus erschwerter Convergenz erklärt werden. Wenn Reddingius meint, dass das von ihm besprochene Krankheitsbild durch Eserineinträufelung nachgeahmt werde, so geht eine derartige Übereinstimmung der Bilder aus seiner Mitteilung nicht hervor. Erstens erwähnt er nichts darüber, ob das wichtigste Symptom des fraglichen Krankheitsbildes, nämlich die asthenopischen Beschwerden beim Nahesehen, auch nach Eserineinträufelung eintritt; zweitens aber wissen wir, dass in normalen Augen nach Eserineinträufelung beim Fernsehen keine Neigung zur Divergenz bezw. Erschwerung der Convergenz nachweisbar ist, wie sie in den 3 erwähnten Fällen von R. vorhanden war.

Es wird von verschiedenen Umständen abhängen, ob der relativ Kurzsichtige sich in dem oben erwähnten Dilemma für das Scharfsehen unter Verzicht auf binoculares Sehen oder für das Einfachsehen unter Verzicht auf scharfe Netzhautbilder entscheidet. Einmal kann die Art der Thätigkeit

und die Größe der Sehobjekte in Betracht kommen; ferner wird die Sehschärfe der beiden Augen eine wesentliche Rolle spielen: Mit Herabsetzung der Sehschärfe eines Auges wird das Interesse am binocularen Einfachsehen kleiner und die Neigung zur Ablenkung des betreffenden Auges nach außen beim Nahesehen größer werden. Das relative divergierende Schielen stellt sich in der That häufiger und früher bei einseitig herabgesetzter als bei beiderseits guter Sehschärfe ein.

Nach DONDERS kämen ferner folgende mechanische Verhältnisse bei Bewegung des achsenmyopischen Auges in Betracht. Die Dehnung des hinteren Augenabschnittes kann eine mehr oder weniger beträchtliche Erschwerung der Drehbewegungen in dem dem Bulbus sich anschmiegenden orbitalen Fettpolster bedingen. Auch entferne sich das Bewegungscentrum im kurzsichtigen Auge nicht nur von der Vorder-, sondern auch von der Hinterfläche des Auges, und zwar um so weiter, je höher der Grad der Kurzsichtigkeit ist. Dies habe zur Folge, dass für gleiche Drehungswinkel die Exkursionen des hinteren Augenabschnittes größere seien, wodurch gleichfalls eine Erschwerung der Bewegung eintrete. (Gegen die Beweiskraft dieser DONDERS'schen Angaben hat indes MAUTHNER begründete Bedenken erhoben.) Da ferner der Winkel γ in den kurzsichtigen Augen oft kleiner ist, als in emmetropischen, sogar $= 0$ oder negativ werden kann, so ist für solche Augen zur Einstellung auf den Fixierpunkt eine stärkere Einwärtswendung der Hornhautachsen erforderlich, als für emmetropische. Die Bedeutung dieses letzteren Faktors darf man indes bei der durchschnittlich nur geringen Verschiedenheit des fraglichen Winkels bei verschiedenen Refraktionszuständen und bei dem Vorkommen auch großer Werte für $\measuredangle \gamma$ bei Myopie nicht zu hoch anschlagen.

Die beiden erstgenannten Umstände müssen eine absolute, der letzte wird eine relative Insufficienz der Adduktion zur Folge haben. In der That findet man die Convergenzfähigkeit höhergradig kurzsichtiger Augen oft merklich geringer als die der normalen. Dass dabei eine »Convergenzparese« ziemlich regelmäßig vorkomme (REDDINGIUS), scheint mir nicht richtig zu sein.

DONDERS nimmt eine »Insufficienz« der Convergenzbewegung an, wenn die Sehlinien nicht in einem Abstande von 2,5″ (= 6,77 cm) zur Kreuzung gebracht werden können (wobei sie sich unter einem Winkel von ca. 51° schneiden). SCHUERMAN hat bei einer unter DONDERS' Leitung angestellten Untersuchung gefunden, dass die totale Exkursion der Augen bei Emmetropischen im Mittel 87° betrug, bei 5 Fällen von hochgradiger Kurzsichtigkeit (20—23 Dioptrien) im Mittel 73,8°, bei 5 Fällen von mäßiger Kurzsichtigkeit (2—8 Dioptrien) im Mittel 80,3°; diese Exkursionen sollen beim Emmetropischen wie beim Kurzsichtigen im Alter um ca. 10° abnehmen. Das Verhältnis der Exkursionen nach innen und außen in Bezug auf die Gesichtslinie fand SCHUERMAN für Kurzsichtige und Emmetropische nahezu gleich groß. In Bezug auf die Hornhautachsen fand

er bei Kurzsichtigen die Exkursion nach außen = 39°, nach innen = 40°, bei Emmetropischen resp. 47° und 40°. Mit Prismen konnten Kurzsichtige im Mittel 5,8° divergieren, Hypermetropische 2,8°, Emmetropische 3,9°. Reich fand bei Kurzsichtigen und bei Übersichtigen das stärkste abducierende Prisma angenähert = 6°, bei Emmetropischen = 5°.

§ 207. Die durch die Erschwerung der Convergenz hervorgerufenen subjektiven Störungen werden unter der Bezeichnung »muskuläre Asthenopie« zusammengefasst. Die Klagen gehen meist dahin, dass vorübergehendes Nahesehen ganz oder fast ganz ohne Beschwerde möglich, aber der Versuch, längere Zeit in der Nähe zu sehen, mit Schwierigkeiten verknüpft sei, die sich zuweilen nur durch unbestimmten Druck im Auge, in anderen Fällen durch bald auftretende Kopfschmerzen äußern; wird das Nahesehen trotzdem weiter fortgesetzt, so können nach kürzerer oder längerer Zeit gekreuzte Doppelbilder infolge der Ablenkung des einen Auges nach außen eintreten; oft werden die Beschwerden hierdurch allein schon wesentlich verringert oder ganz aufgehoben. Diese Fälle, wo das Divergieren also nur beim Nahesehen auftritt, bezeichnet man als relatives Auswärtsschielen.

Die typische muskuläre Asthenopie findet sich in der Regel am ausgesprochensten bei mittleren Graden der Kurzsichtigkeit mit guter Sehschärfe, welche letztere ein lebhafteres Interesse am binocularen Einfachsehen bedingt. Bei höheren Myopiegraden und einseitiger Herabsetzung der Sehschärfe entwickelt sich früher und leichter die Ablenkung des einen Auges nach außen. Bei allen diesen Formen von Kurzsichtigkeit kann die Augenstellung für das Fernsehen normal sein; in einer nicht ganz kleinen Zahl von Fällen zeigt sich aber auch hierbei divergierendes Schielen (»absoluter« Strabismus divergens).

Donders fand in ungefähr zwei Drittel der Fälle von absolut divergierendem Schielen und in wenigstens 90 % der Fälle von relativ divergierendem Schielen Kurzsichtigkeit. Isler findet unter 133 Auswärtsschielenden nur die Hälfte kurzsichtig, Horner unter 100 solchen 29 Übersichtige, Nimier deren 27. Die Kurzsichtigkeit ist also sicher nicht die ausschließliche, ja vielleicht nicht einmal die wesentlichste unmittelbare Ursache für die Entstehung des Auswärtsschielens; wohl aber dürfen wir in ihr bei bestehender Disposition zum Divergieren ein die Entwicklung des Schielens besonders begünstigendes Moment sehen. Diese Disposition wird von Vielen in den Muskelverhältnissen der Augen gesucht, nach dem Vorgange von v. Graefe, der sich hierüber folgendermaßen äußerte: »Wir müssen der muskulären Prädisposition, für welche ganz unabhängig vom Refraktionszustande der hereditäre Einfluss nachweisbar ist, einen sehr breiten Spielraum zuerkennen, sonst wäre es unverständlich, dass bei geringen Graden von Myopie, bei welchen die Formveränderung des Bulbus kaum irgend einen Einfluss auf die Beweglichkeitsverhältnisse und auf die

Lage der Blicklinien beziehungsweise zu den Hornhautachsen ausüben kann, doch oft eine ausgeprägte Störung des lateralen Gleichgewichts existiert, während dieselbe bei hohen Myopiegraden gänzlich fehlen kann. Dass aber bei bestehendem Übergewichte der Abduktoren (dessen Ursachen uns allerdings im wesentlichen unbekannt sind) die Augen des Kurzsichtigen beim Fernsehen leichter divergieren werden, ist verständlich, da ja infolge der verwaschenen Netzhautbilder das Interesse an der binocularen Verschmelzung verhältnismäßig gering, jedenfalls viel geringer als beim Emmetropischen sein wird. Es dürfte vermutlich zum Teile hiermit zusammenhängen, dass das Auswärtsschielen beim Fernsehen oft schon schwindet, wenn man die Netzhautbilder durch Korrektion der Kurzsichtigkeit schärfer macht.

Viele Autoren sehen mit Hansen Grut die wesentliche Ursache für die Entstehung divergierenden Schielens in einem mehr oder weniger vollständigen Aufhören der Convergenzinnervation; dieses werde, da die »anatomische Ruhestellung« der Augen meist einer Divergenz entspreche, leicht zu divergierendem Schielen führen.

Auch der folgende Umstand könnte für die Entstehung absolut divergierenden Schielens bei Kurzsichtigkeit vielleicht in Betracht kommen. Mit der Minderung der Convergenz ist eine Entspannung der Ciliarmuskeln und damit Anspannung der Zonula verknüpft. Eine solche Convergenzminderung kann auch beim Normalen noch über die Parallelstellung hinaus erfolgen: Normale Augen können z. B. mittels Prismen eine Divergenz von $2^1/_2$—3^0 entsprechend einem Prismenwinkel von 5—6^0 aufbringen. Der Emmetropische vermeidet im allgemeinen solches Divergieren, da er wegen der störenden Doppelbilder nur Nachteile, aber keinen Vorteil davon hat; für den Kurzsichtigen ist diese Störung viel geringer und es erscheint a priori nicht undenkbar, dass einer solchen Divergenz eine ausgiebigere Entspannung des Ciliarmuskels bezw. Anspannung der Zonula entspräche, die möglicherweise, vielleicht bei jugendlichen Individuen mit weicher Linse, auch eine weitere Abflachung der letzteren und damit ein für den Kurzsichtigen vorteilhaftes Hinausrücken des Fernpunktes zur Folge hat. Aus diesem Gesichtspunkte würde das Divergieren für den Myopischen einen, wenn auch geringen, direkten Vorteil bieten können.

Eine solche Auffassung (die sich übrigens schon bei Donders angedeutet findet) hatte zur Voraussetzung, dass wirklich beim Übergange der Blicklinien von der Parallelstellung zur Divergenz ein merkliches Hinausrücken des Fernpunktes, wenigstens bei jugendlichen Kurzsichtigen, sich beobachten ließe. v. Reuss fand bei Kurzsichtigen abnorm große Linsenradien; sollte hierbei vielleicht der angedeutete Umstand eine Rolle spielen?

Auch Einwärtsschielen ist bei Kurzsichtigkeit beobachtet worden; eine hierher gehörige Form hat v. Graefe beschrieben: In 2% aller Schielenden

fand er bei mäßig Kurzsichtigen (von 3—6 Dioptrien), deren Augen durch Entzündung oder andere Ursachen in ihrer Sehfähigkeit beeinträchtigt und dadurch im binocularen Sehen gehindert waren, ein »Übergewicht der Interni«, anscheinend bedingt durch deren starke Inanspruchnahme beim Nahesehen. In der Nähe, zwischen 15—30 cm, fixiert der Kranke richtig; bei zunehmender Entfernung des Objektes tritt zunächst Verwirrung, Schwanken des einen Auges, weiterhin Convergenz mit mehr oder weniger deutlichem Doppelsehen auf. Eine andere Form gehört nicht im eigentlichen Sinne hierher: Wenn bei höchstgradiger Kurzsichtigkeit die Beweglichkeit beider Augen nach außen wie nach innen in hohem Maße beschränkt ist, so kann für eine mittlere Convergenzstellung beider Augen beim Versuche, ferne Gegenstände zu betrachten, konvergierendes Schielen gefunden werden, während bei Annäherung des Objektes über die Kreuzungsstelle der Blicklinien relative Divergenz besteht. Beide Formen sind verhältnismäßig sehr selten.

§ 208. Hinsichtlich der Therapie der in Rede stehenden Störungen müssen wir uns auf die Anführung einiger wichtigerer Punkte beschränken. Eine »Spontanheilung«, wie beim Einwärtsschielen, kommt, wie es scheint, beim divergierenden periodischen oder dauernden Schielen kaum oder gar nicht vor; im Gegenteil entwickelt sich hier öfter im Laufe der Zeit aus dynamischem oder periodischem ein dauerndes Auswärtsschielen. Für die einfachen Formen der Kurzsichtigkeit können in vielen Fällen durch die vollkorrigierenden Gläser bei längerem Tragen derselben angenähert solche Beziehungen zwischen Convergenz und Akkommodation herbeigeführt werden, wie sie in normalen, emmetropischen Augen bestehen; die asthenopischen Beschwerden können dadurch mehr oder weniger vollständig beseitigt werden; wir sehen häufig die ohne Gläser vorhandene physiologische relative Divergenz beim Nahesehen unter den korrigierenden Gläsern bald verschwinden. Unmittelbar nach Vorsetzen der Korrektionsgläser haben die Kurzsichtigen oft ein unbehagliches oder unsicheres Gefühl, das wohl zum Teile darauf zurückzuführen ist, dass ihnen die geänderten Beziehungen zwischen Convergenz und Akkommodation noch ungewohnt sind.

In einer anderen Gruppe von Fällen bleibt auch nach vollständiger Korrektion der Kurzsichtigkeit noch eine mehr oder weniger starke latente Divergenz bestehen. Diese erfordert im allgemeinen nur dann besondere therapeutische Maßnahmen, wenn sie zu asthenopischen Beschwerden Anlass giebt. Letztere sind keineswegs dem Grade der latenten Divergenz streng proportional; wir finden oft bei einer stärkeren dynamischen Divergenz geringe, bei kleinerer Divergenz größere Beschwerden; Art und Dauer der Arbeit, der Allgemeinzustand, die mehr oder weniger rasche Ermüdbarkeit des Kranken sind hier von Bedeutung; Asthenopie tritt nicht selten zuerst nach erschöpfenden Krankheiten, Blutverlusten, bei Chlorose u. s. w. auf.

Daher ist es auch nicht wohl möglich, allgemein das Minimum der Ablenkung anzugeben, das noch eine besondere Korrektion erheischt. Nach Mauthner wäre eine »Insufficienz«, die einem Prismawinkel von 5° entspricht, die schwächste, »die thatsächlich, und auch nur unter Umständen, eine Korrektion verlangt«. Letztere braucht deshalb auch bei stärkeren Ablenkungen, soll sie die Asthenopie beseitigen, die Insufficienz nicht vollständig auszugleichen; vielmehr genügt oft dazu eine mäßige Verringerung derselben.

Unsere Hilfsmittel bei bestehender dynamischer Divergenz sind: 1. Decentrieren der Gläser. 2. Kombination derselben mit Prismen. 3. Haploskopische Übungen. 4. Operation. (Tenotomie eines oder beider Recti externi, eventuell mit Vorlagerung eines oder beider Interni oder letzteres allein.)

Bezüglich der Wirkung des Decentrierens von Gläsern sei auf § 70 verwiesen. Bei solchen Decentrationen ist zu berücksichtigen, dass richtige Stellung der Gläser für die Ferne einer Decentration um ca. 2,5 mm jederseits entspricht, wenn die Gläser zum Nahesehen benutzt werden. Eine Decentration um etwa 7 mm ist das in der Praxis eben zulässige Maximum; bei einer solchen korrigieren z. B. 2 Konkavgläser von je 5 Dioptrien eine Ablenkung von ca. 4°, entsprechend einem Prismenwinkel von ca. 8° (= 7 Prismendioptrien).

Die Anwendung von Prismen (allein oder mit Gläsern kombiniert) ist dadurch verhältnismäßig beschränkt, dass stärkere Prismen durch ihr Gewicht und durch die Farbenzerstreuung störend wirken. Von dem Einflusse prismatischer Gläser auf die zum Nahesehen nötige Convergenz mögen die folgenden, einer Tabelle Groenouw's (1886) entlehnten Werte ein Bild geben.

Bei einem Objektabstande von der zu 60 mm angenommenen Basallinie =	ist für ein Prisma (Index = 1,531) von 3°	4°	6°	8°
	der Abstand des Schnittpunktes der Sehlinien von der Basallinie			
20 cm	24,2 cm	25,9 cm	30 cm	36,1 cm
25 »	31,9 »	35 »	43,5	57,9 »
30	40,4 »	46	61,9	96 »
40 »	62 »	75		

Im allgemeinen genügt es, jene Prismen zu verordnen, die die asthenopischen Beschwerden eben beseitigen, wobei man die Gläser in angenähert gleicher Stärke auf beide Augen verteilt. Wenn Mauthner meint, dass »stärkere Prismen wie solche von 7° jederseits kaum verordnet werden können«, so scheint mir diese Grenze schon sehr hoch gegriffen zu sein.

Haploskopische Übungen scheinen angezeigt, bevor man sich bei einfacher Insufficienz nicht zu hohen Grades zu operativem Eingreifen entschließt, sofern bei dem Kranken die nötige Geduld und Ausdauer zu solchen

Übungen vorausgesetzt werden kann. Freilich lässt sich kaum voraussagen, ob und in welchem Umfange im einzelnen Falle durch solche Übungen eine Besserung erreicht wird. Der beste Beweis für den Wert der Methode liegt in den Erfolgen, die u. a. Javal und Landolt mit ihr bei Patienten mit manifestem divergierendem Schielen erzielten: Eine Reihe derselben wurde durch stereoskopische Übungen allein vom Schielen befreit; den günstigen Einfluss solcher Übungen bei muskulärer Asthenopie habe auch ich wiederholt beobachten können.

Die Tenotomie ist nicht nur bei manifestem Schielen, sondern unter Umständen auch bei höheren Graden von Insufficienz angezeigt; die ophthalmologische Kasuistik ist reich an Schilderungen von Fällen, wo schwere, durch muskuläre Asthenopie bedingte Störungen mittels Tenotomie dauernd beseitigt wurden.

Man hat vielfach versucht, genauere Angaben über das Maß der durch die operativen Eingriffe zu erzielenden Korrektion zu machen. So stellte z. B. A. v. Graefe (1869) folgende Regeln auf: Die geringste Fernabduktion, welche im allgemeinen durch Operation angegriffen werden kann, entspreche einem Prisma von 8°, die größte, welche eine einseitige Operation (Tenotomie) noch zu beseitigen imstande ist, könne 18° überschreiten. Einfache Tenotomie genüge eben bei einem Grenzprisma von 16°, allenfalls auch von 17 und 18°; bei stärkeren Divergenzen werde die nötige Korrektion erst durch beiderseitige Operation erzielt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass derartigen Regeln wegen der ungleichen Effekte der Schieloperation nur ein verhältnismäßig untergeordneter Wert zukommt; die sogenannte Dosierung der Operation lässt im großen und ganzen noch viel zu wünschen übrig: Unter anscheinend gleichen oder ähnlichen äußeren Verhältnissen hat die Tenotomie in einem Falle eine geringe, im anderen eine große Änderung des Schielwinkels zur Folge; schon hieraus ergiebt sich die Regel, auch bei hohen Schielgraden niemals den Eingriff auf beiden Seiten gleichzeitig vorzunehmen. Von wesentlichem Einflusse auf das Ergebnis wird stets der Anteil sein, den nach der Operation das früher schielende Auge am gemeinsamen Sehen hat; je besser seine Sehschärfe, je größer sein Interesse am binocularen Einfachsehen ist, um so günstiger sind die Aussichten auf dauernden guten Erfolg. Aufgabe einer richtigen Nachbehandlung ist es, dieses Interesse anzuregen und damit auch die Sehschärfe des Schielauges thunlichst zu steigern.

§ 209. In den vorhergehenden Abschnitten war das Schielen vorwiegend insoweit Gegenstand der Erörterung, als es durch Refraktionsanomalien bedingt ist und durch deren Korrektion beeinflusst werden kann. Neben den wesentlich den motorischen Apparat betreffenden Abweichungen von der Norm ist zum Verständnisse dieser Schielformen auch die Kenntnis

der dabei vorkommenden sensorischen Störungen erforderlich. Wir müssen uns auch hier auf die Erörterung der für die vorliegende Frage wichtigsten Punkte beschränken, die sich über das Sehen der Schielenden insbesondere aus den interessanten Untersuchungen der letzten Jahre ergeben haben.

Den Erklärungsversuchen für das Sehen der Schielenden hat man früher vielfach die Nagel'sche Projektionstheorie zu Grunde gelegt, die in den letzten Jahren hauptsächlich noch durch A. Graefe nachdrücklich vertreten worden ist; die Unhaltbarkeit derselben für das normale Auge hatte Hering schon vor mehr als 30 Jahren in überzeugender Weise dargethan; dass sie die bei den Schielenden beobachteten Erscheinungen nicht zu erklären vermag, haben die Untersuchungen insbesondere von Javal (1896), Tschermak (1898) und Bielschowsky (1898) gezeigt, die zugleich einen neuen Beweis für die Richtigkeit der Hering'schen Lehren vom Raumsinne erbrachten.

Hinsichtlich der Lokalisation der Netzhautbilder des Schielauges zeigt das Sehen der Schielenden sehr verschiedene Erscheinungsweisen. Tschermak hat danach eine Einteilung in 3 Gruppen vorgeschlagen: Der ersten würden diejenigen Fälle angehören, bei welchen die angeborene Korrespondenz in normaler Weise vorhanden ist. Bei den Schielenden der beiden anderen Gruppen dagegen hat sich eine anomale Beziehung beider Netzhäute zu einander entwickelt; da hier diejenigen Netzhautstellen, welchen gemeinsame Sehrichtungen zukommen, andere sind, als im normalen Auge, hat Tschermak dafür die Bezeichnung »anomale Sehrichtungsgemeinschaft« vorgeschlagen. Der zweiten Gruppe Tschermak's gehören diejenigen Schielenden (mit gestörter Korrespondenz) zu, bei welchen die Schielstellung mit der anomalen Lokalisationsweise übereinstimmt; der dritten Gruppe jene, bei welchen diese Übereinstimmung zwischen Schielstellung und Lokalisationsweise fehlt.

Der Anteil, den das schielende Auge am gemeinsamen Sehakte hat, ist bei verschiedenen Fällen von Strabismus sehr verschieden, indem die Eindrücke des Schielauges eine an Intensität und Ausdehnung individuell sehr verschiedene Hemmung (Tschermak) erfahren; je nach dem Grade derselben baut sich das Sehfeld der Schielenden nur aus den Bildern des »führenden« Auges oder aus unocular gesehenen Anteilen beider Augen auf (simultanes Monocularsehen mit beiden Augen nach Hering), oder aber es kommt ein wirklicher gemeinschaftlicher, binocularer Sehakt im engeren Sinne zustande. Die Hemmung zeigt sich in verschiedenen Augen in verschiedener Ausdehnung und kann in verschiedenen Bezirken desselben Schielauges verschieden stark ausgeprägt sein (regionäre Exclusion Graefe's). Es können auch 2 Stellen stärkster Hemmung in einem Auge vorhanden sein, (was nach Schlodtmann für Tschermak's dritte Gruppe der Schielenden

charakteristisch sein dürfte). Hier entsprechen die beiden maximalen Hemmungen der Fovea und derjenigen Stelle der schielenden Netzhaut, die mit der fixierenden Fovea jeweils den gleichen Raumwert besitzt.

Fälle mit einem gewissen Grade von binocularem Sehen bei Schielenden haben insbesondere A. Graefe, Javal und Bielschowsky genauer untersucht. Die anomale Korrespondenz, die dieser Art des Binocularsehens zu Grunde liegt, liefert indessen keinen Ersatz, sondern höchstens ein minderwertiges Surrogat für die normale Korrespondenz; sie bleibt immer auf einer rudimentären Entwicklungsstufe stehen. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Formen der Korrespondenz sind folgende: Während die normale Korrespondenz eine durchaus konstante physiologische Beziehung zwischen beiden Netzhäuten darstellt, findet man die anomale Sehrichtungsgemeinschaft häufig und innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwankend (sodass man nicht wohl von einer »Pseudomacula« sprechen kann). Schon Sachs zeigte (1896), dass die sogenannte »vikariierende Macula« in keiner Weise gegenüber den ihr benachbarten Netzhautstellen betont ist, was auch durch die Untersuchungen Schlodtmann's bestätigt wird. Das Gebiet im Schielauge, das mit der Fovea des führenden Auges gemeinsame Sehrichtung hat, kann eine mehr oder weniger große Fläche decken; hiermit hängt das öfter nachweisbare Schwanken in der Lokalisation der Bilder schielender Augen zusammen. Der motorische Apparat scheint sich in einer Reihe von Fällen (dann, wenn das Schielauge excentrisch fixiert) den geänderten sensorischen Beziehungen anzupassen, wenn auch meist in unvollkommener Weise, derart, dass die betreffende excentrische Stelle gewissermaßen der Nullpunkt des oculomotorischen Apparates wird. Ferner unterscheidet sich die anomale Sehrichtungsgemeinschaft von der normalen Korrespondenz durch die innere Hemmung der Schielaugeneindrücke, durch das Fehlen eines regelrechten Wettstreites und endlich durch das Fehlen einer normalen Tiefenwahrnehmung auf Grund der Querdisparation.

Aber selbst jenes rudimentäre Binocularsehen gehört zu den großen Seltenheiten; bei der überwiegenden Mehrzahl der Schielenden kommt es anscheinend überhaupt nicht zu einer Verschmelzung zweier Netzhautbilder. Indessen lässt sich eine scharfe Scheidung dieser beiden Arten von Schielenden nach Bielschowsky schon deshalb nicht durchführen, weil sich Übergangsformen finden, wo zunächst ein Binocularsehen anscheinend fehlt, nach längerer Beobachtung aber ein gewisser Grad desselben nachzuweisen ist. In einer Reihe von Fällen findet ein häufiger, rascher Wechsel zwischen normaler und anomaler Lokalisation statt, in anderen können beide Lokalisationen gleichzeitig statthaben, wodurch dann »uniculares Doppeltsehen ohne physikalische Grundlage« bedingt ist; eine einfache Erregung ruft zwei Empfindungen hervor, die gleichzeitig an zwei Stellen im Raume lokalisiert werden (Bielschowsky), welche Thatsache allein zur Widerlegung der

Projektionstheorie genügt. Ähnliche Erscheinungen konnte Tschermak an einem seiner beiden mit alternierendem Schielen geringen Grades behafteten Augen nachweisen; Javal führt (1896) 8 Fälle von unocularem Doppeltsehen bei Schielenden an.)

Die hier kurz mitgeteilten Erfahrungen sind auch für unsere therapeutischen Maßnahmen bei Strabismus nach verschiedenen Richtungen von großer Bedeutung geworden; so sind durch sie die Versuche veranlasst, mittels systematischer Übungen die innere Hemmung des Schielauges zu beeinflussen.

Von den hierbei in Betracht kommenden Methoden bezwecken die haploskopischen, das Schielauge zu gleichzeitigem Gebrauche mit dem gesunden heranzuziehen; dazu dienen z. B. das Javal'sche »stéréoscope à 5 mouvements«, die einfacheren Landolt'schen Tuben mit Kugelgelenk, die Priestley-Smith'schen fusion tubes, das Bielschowsky'sche Stereoskop mit beweglichen Halbbildern, sowie das Hering'sche Spiegelhaploskop. Bei einer zweiten Gruppe von Übungsmethoden sollen in kontinuierlichem Wechsel bald das gesunde, bald das kranke Auge, bald beide benutzt werden; dies ist der Fall z. B. bei Javal's »lecture controlée« und einer Vorrichtung Bajardi's, wobei eine Scheibe mit verschiedenen Ausschnitten so vor den Augen rotiert, dass bald das eine, bald das andere Auge, bald keines verdeckt ist.

Ein drittes Verfahren endlich bezweckt nicht sowohl gleichzeitigen Gebrauch beider, als Übung des kranken Auges allein, indem das gesunde durch Verdecken vom Sehakte ausgeschlossen wird. Von der Wirkung dieses früher viel geübten, später aber großenteils außer Gebrauch gekommenen Verfahrens geben uns die Erfahrungen von Priestley Smith an 118 in solcher Weise behandelten Fällen ein Bild: Wiewohl Besserung der Sehschärfe nicht der Hauptzweck war, wurde eine solche geringen Grades doch in vielen, eine betrachtliche in wenigen Fällen beobachtet, einmal eine solche von $^6/_{60}$ auf $^6/_{12}$. Dagegen verlor sich in 7 Fällen während der Behandlung eine ursprünglich vorhanden gewesene falsche Fixation, in 10 Fällen wurde einseitiges Schielen durch fortgesetztes Verbinden des gesunden Auges in alternierendes umgewandelt. Das Verfahren ist insbesondere für die Bekämpfung der inneren Hemmung des Schielauges von Bedeutung.

In welchem Umfange diese Übungstherapie (die selbstverständlich in entsprechender Weise durch Korrektion mit geeigneten Gläsern zu unterstützen ist) im einzelnen Falle das Schielen zu beeinflussen vermag, lässt sich von vornherein nicht mit Bestimmtheit angeben; es kommt viel auf die genügende Ausdauer von seiten des Arztes wie des Kranken an.

Was den nach der Schieloperation zu erwartenden Erfolg angeht, so ergiebt sich aus dem über die Besserung des Sehens durch Gebrauch des Auges Gesagten, dass der operative Eingriff auch auf die Sehschärfe von günstigem Einflusse sein kann (was früher vielfach in Abrede gestellt worden ist), insofern dadurch das Schielauge zu gemeinsamer Thätigkeit mit dem anderen herangezogen wird. Aus dem, was wir heute über die angeborenen Raumwerte und ihre Stellung gegenüber den erworbenen wissen, lässt

sich schon schließen, dass durch Korrektur der Schielstellung nicht nur die Fälle mit ungestörter Korrespondenz, sondern auch jene mit ausgesprochener Anomalie derselben wieder normales Binocularsehen gewinnen können. In der That sind einwandfreie Fälle bekannt geworden, wo selbst nach 20—30jährigem Bestehen des Schielens bei dem HERING'schen Fallversuche kurz nach der Operation binoculares Sehen gefunden wurde. Immerhin können wir das Eintreten des normalen Binocularsehens nie mit Bestimmtheit voraussagen, denn in einer Reihe von Fällen bleibt aus bisher nicht genügend bekannten Gründen trotz günstiger Voraussetzungen bezüglich der Sehschärfe und Beseitigung der Schielablenkung durch die Operation das Binocularsehen aus. In der ersten Zeit nach der Operation tritt bei den Kranken mit anomaler Korrespondenz öfter »paradoxes« Doppeltsehen auf, in den meisten Fällen ist dies aber nur vorübergehend; längerdauerndes Doppeltsehen nach der Schieloperation gehört zu den großen Seltenheiten.

Von Interesse scheint im Hinblicke auf das Vorstehende noch die Frage nach dem richtigen Zeitpunkte für die Vornahme der Schieloperation. Nach dem über die Abnahme der Sehschärfe eines schielenden Auges Gesagten könnte es zweckmäßig erscheinen, die Korrektion der Schielstellung so früh als möglich vorzunehmen. Dem stehen aber die zahlreichen Erfahrungen gegenüber, wo aus einem in früher Jugend mit bestem kosmetischem Erfolge operierten Strabismus convergens in späteren Jahren sich hochgradiges Auswärtsschielen entwickelt hat; wissen wir doch, dass Einwärtsschielen im Laufe der Zeit selbst ohne jede Therapie ausheilen, ja in seltenen Fällen in Auswärtsschielen übergehen kann (s. o.). Auf Grund dieser Erfahrungen hat man vielfach die Schieloperation in früher Jugend für unzulässig erklärt und es als nicht gerechtfertigt bezeichnet, die Formen des hypermetropischen Schielens mit beiderseits guter Sehschärfe vor dem 18. Jahre zu operieren (MAUTHNER). Andererseits kann aber durch Verzicht auf eine solche Therapie der Entwicklung der Amblyopia ex anopsia Vorschub geleistet werden; PRIESTLEY SMITH empfiehlt daher, die Schieloperation schon bei 2jährigen Kindern vorzunehmen, wenn Brillen und Übungstherapie nicht zur Besserung führen; die Tenotomie solle selbst auf die Gefahr einer späteren Divergenz hin vorgenommen werden, da letztere dann leicht zu korrigieren ist. Inwieweit etwa durch die Übungstherapie einerseits der Amblyopie, andererseits der Entwicklung divergierenden Schielens nach frühzeitiger Operation eines konvergierenden vorgebeugt werden kann, ergiebt sich zum Teile aus dem oben Gesagten.

§ 210. Relative Akkommodations- und Fusionsbreite bei gehobener und gesenkter Blickebene. In den vorhergehenden Paragraphen waren lediglich die Verhältnisse der Convergenz und Akkommodation

bei horizontaler Blickebene und geradeaus gerichtetem Kopfe berücksichtigt. Mit Hebung der Blickebene ist bei vielen Menschen Neigung zu Divergenz, mit Senkung derselben Neigung zu Convergenz verbunden. Nach HERING ist dies auf rein anatomische Ursachen gegründet und daher nicht mit entsprechender Innervation der Recti interni und zugehöriger Mehrung der Akkommodation verknüpft. So erklärt es sich, dass für manche kurzsichtige Augen der binoculare Fernpunkt bei (relativ zum Kopfe) gesenkter Blickebene weiter vom Auge entfernt liegt, als bei horizontaler oder gehobener. Doch scheint dieser Satz nicht für alle normalen Augen Giltigkeit zu haben: BIESINGER, SCHIRMER und W. SCHMIEDT fanden bei Senkung der Blickebene den binocularen Fernpunkt dem Auge näher als bei Hebung. Nach SACHS tritt beim Abwärtsblicken Kontraktion der Recti interni und zugleich Zunahme der Akkommodationsspannung ein. In meinen emmetropischen Augen ist nach Versuchen, die ich in Zwischenräumen von mehreren Jahren öfter wiederholt habe, die Convergenzfähigkeit bei Hebung und Senkung der Blickebene nicht nennenswert verschieden. SCHMIEDT fand die Lage des Fusionsgebietes bei gehobener Blickebene meist in der Weise verschoben, dass eine etwas größere Divergenz- und geringere Convergenzfähigkeit vorhanden war, als bei gesenktem Blicke. Die Größe des Fusionsgebietes der von ihm untersuchten Augen war bei Hebung der Blickebene jener bei Senkung entweder gleich oder kleiner als dort, und zwar wesentlich auf Kosten der Convergenzfähigkeit.

§ 211. Bei den bisher besprochenen Untersuchungen war ferner vorausgesetzt, dass beide Augen auf einen symmetrisch in der Medianebene gelegenen Punkt konvergieren. Es bleibt zu untersuchen, in welcher Weise Akkommodation und Augenbewegungen bei Seitwärtswendung des Blickes, also unsymmetrischer Convergenz erfolgen. Auch hier finden wir das HERING'sche Grundgesetz der stets gleichen Innervation beider Augen erfüllt, selbst wenn, wie es hier oft der Fall ist, die isolierte Innervation jedes Einzelauges im Interesse des deutlichen Sehens zweckmäßiger wäre. Ein in geringer Entfernung vom Kopfe seitwärts gelegener Punkt ist ungleich weit von beiden Augen entfernt; der Unterschied beider Abstände wird bei sonst gleichen Verhältnissen um so größer, je näher der seitwärts befindliche Punkt dem Kopfe liegt. Da die Akkommodation beider Augen stets gleich groß ist, so kann nur das eine ein deutliches Bild bekommen, während das andere den Gegenstand in Zerstreuungskreisen sieht. HERING hat gezeigt, dass unter gewöhnlichen Verhältnissen das gleichseitige (also näher gelegene) Auge auf das Objekt einstellt; KOSTER hat diese Angabe bestätigt: die richtige Akkommodationseinstellung geht nur dann auf das entferntere Auge über, wenn dieses unter günstigere Bedingungen für das Sehen des Objektes gebracht wird. Man überzeugt sich hiervon leicht.

indem man eine seitwärts vorgehaltene feine Nadel fixiert und dann durch leichte willkürliche Steigerung der Convergenz sich Doppelbilder derselben erzeugt. An der Schärfe der letzteren erkennt man die mehr oder weniger genaue Einstellung der Augen.

Die mechanischen Verhältnisse bei Convergenz und Seitwärtswendung des Blickes sind neuerlich von Koster eingehender dargestellt worden. Aus Untersuchungen von Snellen und Eysselstein geht hervor, dass bei Blickwendung nach der Seite der binoculare Nahepunkt sich von der Mitte der Basallinie entfernt, um so mehr, je stärker die Seitwärtswendung des Blickes ist. Nach Koster beginnt dies schon bei einer Seitwärtswendung um etwa 20°: die Ursache hierfür scheint in mechanischen Momenten zu liegen, die der Convergenz hindernd entgegentreten. Koster sucht das Hindernis darin, dass das entferntere Auge einen größeren Ablenkungswinkel durchlaufen muss, um aus der primären Parallelstellung in die seitliche Convergenzstellung überzugehen, als das nähere Auge; dabei wirkt der Rectus internus des entfernteren Auges unter ungünstigeren mechanischen Bedingungen, als der Externus des näheren Auges, wodurch das entferntere Auge in eine relative Divergenzstellung kommt.

§ 212. Anisometropie. Die beiden Augen eines Beobachters sind wohl niemals so übereinstimmend gebaut, dass die Abbildungsweise in beiden völlig gleichartig ist. Dass die monochromatischen Aberrationen sehr häufig in beiden Augen merklich voneinander verschieden sind, wurde schon früher erwähnt: Ein weit entfernter leuchtender Punkt, z. B. ein heller Stern, erscheint mir mit jedem meiner angenähert emmetropischen Augen allein gesehen als eine sehr kleine, fast punktförmige, helle Scheibe mit feinsten, in verschiedenen Richtungen verlaufenden Strahlen, die aber in beiden Augen etwas verschieden sind. Fixiere ich den Punkt binocular, so ist die kleine helle Scheibe eine Spur größer und mit mehr hellen Strahlen besetzt, als die unocular gesehenen Scheiben; wegen der Verschiedenheit beider Augen kommt immer nur ein Teil der jedem einzelnen Auge sichtbaren Strahlen im binocular gesehenen Bilde vollständig zur Deckung. Auch die früher besprochenen Erscheinungen der Farbenstereoskopie sind ja darauf zurückzuführen, dass der Strahlengang in beiden Augen eines normalen Beobachters zwar oft angenähert symmetrisch, aber nicht identisch ist. Auf derartige physiologische Verschiedenheiten beider Augen eines Beobachters sind gewisse pseudostereoskopische Erscheinungen zurückzuführen, die an feinen, flächenhaften Objekten bei nicht genauer Einstellung unter Umständen auffällig hervortreten (sie sind meines Wissens bisher nicht beschrieben). Nähere ich meinen Augen über den Nahepunkt eine feine, schwarze, vertikale Linie auf weißem Grunde, so sieht das rechte Auge einen feinsten dunklen Strich, dem sich links ein grauer verwaschener Zerstreuungsstreif

anschließt; für das linke Auge liegt ein ähnlicher Zerstreuungsstreif auf der rechten Seite der dunklen Hauptlinie; verschmelze ich die beiden Bilder, so sehe ich eine etwas breitere schwarze Linie, auf deren Mitte in ihrer ganzen Länge eine stark vorspringende hellgraue Leiste sich zu erheben scheint. Ähnlich zeigen an feiner Druckschrift, die über den Nahepunkt den Augen genähert wird, bei binocularer Betrachtung einzelne Buchstaben oder Buchstabenteile solche vorspringende Leisten; der stereoskopische Eindruck ist unter geeigneten Bedingungen sehr eindringlich. Die Erklärung ergiebt sich leicht, wenn man berücksichtigt, dass jenen Zerstreuungsstreifen (für meine Augen) eine gekreuzte Disparation zukommt.

Die bisher beschriebenen Verschiedenheiten sind im allgemeinen so gering, dass sie keinerlei Störungen machen, ja meist gar nicht bemerkt werden. Die Bezeichnung »Anisometropie« (Kaiser 1867) wird im allgemeinen nur auf solche Fälle angewendet, wo die Refraktionsdifferenz beider Augen ein gewisses Maß überschreitet; eine scharfe Grenze zwischen physiologischer und pathologischer Anisometropie ist nicht wohl zu ziehen. Während geringe Anisometropiegrade ziemlich häufig sind, trifft man höhere verhältnismäßig viel seltener; bei skiaskopischen Schuluntersuchungen fand ich unter 442 kurzsichtigen und 924 übersichtigen Kindern annähernd die Hälfte anisometropisch.

Ist ein Auge emmetropisch, das andere mehr oder weniger hypermetropisch, so wird es sich in der Regel um angeborene Anisometropie handeln; zu den erworbenen Anisometropien gehören einmal die Fälle, wo Kurzsichtigkeit sich nur an einem Auge entwickelt hat oder an einem rascher fortgeschritten ist, als am anderen, ferner die durch einseitige Hornhautabflachung, sowie die durch einseitige Aphakie bedingten Unterschiede in der Refraktion beider Augen.

§ 213. Für die Symptomatologie ist in erster Linie die Thatsache wichtig, dass der Anisometropische nicht imstande ist, eine noch so kleine Refraktionsdifferenz beider Augen durch ungleiche Akkommodation auszugleichen; das Gesetz der gleichmäßigen Innervation beider Augen gilt hier ebenso, wie beim Isometropischen.

In vielen Fällen ist die einzige durch (höhergradige) Anisometropie bedingte Störung das Fehlen der binocularen Tiefenwahrnehmung; doch kann auch diese selbst bei hohen Graden von Anisometropie vorhanden sein, wenn die Sehschärfe beiderseits genügend ist. Eine Scheidung in 2 Gruppen von Anisometropischen, solche mit und solche ohne Binocularsehen, erscheint kaum zweckmäßig, da das binoculare Sehen nicht lediglich vom Grade der Refraktionsdifferenz, sondern noch von verschiedenen anderen Umständen (Sehschärfe u. s. w.) beeinflusst wird. Auch dürfen wir uns nicht, wie dies vielfach geschieht, vorstellen, dass die Grenze zwischen Vorhandensein und Fehlen der binocularen Tiefenwahrnehmung eine scharfe sei.

Die Fähigkeit, kleine Tiefenunterschiede wahrzunehmen, wird mit zunehmender Anisometropie allmählich geringer, mit anderen Worten, die Niveaudifferenzen an den gesehenen Objekten müssen unter sonst gleichen Verhältnissen, um eben merklich zu werden, im allgemeinen desto größer sein, je größer die Refraktionsdifferenz der Augen ist. Bei Beurteilung des Sehens Anisometropischer muss man sich gegenwärtig halten, dass, auch wenn die Prüfung mit dem HERING'schen Fallversuche nicht bestanden wird, doch ein gewisses binoculares Sehen vorhanden sein kann, das z. B. im Stereoskop die Verschmelzung zweier Eindrücke gestattet. Bei beiderseits genügender Sehschärfe findet man auch bei Anisometropie von mehreren Dioptrien in der Regel noch gute binoculare Tiefenwahrnehmung; ja selbst bei einseitiger Aphakie ist nach verschiedenen Angaben ziemlich gutes stereoskopisches Sehen nicht selten (SCHMIDT-RIMPLER und GRUSSENDORF [1900]). In Augen mit beiderseits gleicher Refraktion kann selbst bei einseitiger Herabsetzung der Sehschärfe auf $^1/_5$ — $^1/_{20}$ der normalen die Prüfung mit dem HERINGschen Fallversuche bestanden werden.)

Bei allen Anisometropiegraden können subjektive Störungen ganz oder fast ganz fehlen; dies gilt auch dann, wenn beide Augen volle Sehschärfe haben und jedes Auge für sich viel gebraucht wird, wie z. B. bei einseitiger Kurzsichtigkeit von 3—4 Dioptrien. So, wie wir beim Mikroskopieren mit geöffnetem zweitem Auge leicht lernen, die Bilder dieses Auges ganz zu ignorieren, wird auch der Anisometropische meist nicht durch das Bild gestört, das nicht eben Gegenstand seiner Aufmerksamkeit ist. Zuweilen klagen Kranke nach einseitiger Extraktion einer getrübten Linse bei guter Sehschärfe des anderen Auges in den ersten Tagen nach Weglassen des Verbandes über einen unangenehmen Wettstreit der Eindrücke beider Augen; aber auch diese Störung pflegt sich in kurzer Zeit zu verlieren. Die Thatsache ist wichtig für die Frage, ob eine getrübte Linse bei gesundem zweitem Auge extrahiert werden soll. Mit v. GRAEFE und DONDERS dürfte die Mehrzahl der Fachgenossen die Frage bejahen, da mit der Extraktion kein Nachteil, wohl aber schon durch Erweiterung des Gesichtsfeldes, zum Teile auch aus kosmetischen Gründen und bei einem etwa das gesunde Auge treffenden Unfalle wesentliche Vorteile verknüpft sein können (ganz abgesehen von dem günstigen psychischen Einflusse, den der Eingriff bei manchen Kranken hat, die in beständiger Angst vor beiderseitiger Erblindung leben).

§ 214. Die Art, wie Anisometropische ihre Augen benutzen, ist nach Grad und Art der Anisometropie verschieden: Ist ein Auge emmetropisch, das andere kurzsichtig von etwa 2—4 Dioptrien, so wird meist das eine ausschließlich zum Fernsehen, das andere zum Nahesehen benutzt; solche Personen können also vielfach mit verhältnismäßig kleinen Akkommo-

dationsanstrengungen in allen Entfernungen deutlich und ohne Beschwerden sehen. Man hat deshalb diese einseitige Entwicklung von Kurzsichtigkeit als einen zweckmäßigen Anpassungsvorgang aufgefasst (Häckel) und geglaubt, die einseitige Myopie sei in einer Reihe von Fällen durch das Nahesehen mit dem betreffenden Auge beim Mikroskopieren erklärbar; diese Erklärung ist schon deshalb unhaltbar, weil ja beim Mikroskopieren im allgemeinen das Auge gar nicht für die Nähe, sondern für die Ferne eingestellt ist. In etwas anderer Form ist jene Anschauung in den letzten Jahren wieder u. a. von Schneller und von Sulzer vertreten worden. Ersterer fand 39,6% der von ihm untersuchten Myopischen rechts, 26% links stärker kurzsichtig; Sulzer fand bei skiaskopischen Schuluntersuchungen die Kurzsichtigkeit anfangs häufig unocular und auch später in 62—81% an beiden Augen verschieden stark, so zwar, dass von diesen Anisometropischen 59,3% am rechten Auge höhere Kurzsichtigkeit hatten, als am linken. Zu gleichen Ergebnissen kamen Albrecht (auf Grund von Beobachtungen aus Horner's Privatpraxis) und Duane. Ich fand von 422 kurzsichtigen Kindern 50% anisometropisch; von diesen hatten 55,1% höhere Myopie am rechten, 44,9% höhere Myopie am linken Auge; von 924 übersichtigen Kindern fand ich 49% anisometropisch; unter letzteren hatten 51% geringere Hypermetropie am rechten Auge, 49% am linken Auge; höhere Kurzsichtigkeit des rechten Auges war also zwar gleichfalls häufiger, als solche des linken, der Unterschied war aber kleiner, als z. B. in Sulzer's Statistik. Letzterer sucht die Erklärung für die Häufigkeit der höheren Kurzsichtigkeit am rechten Auge in einer Neigung des Kopfes bei schräger Schrift, wodurch das rechte Auge dem Blatte näher sei, als das linke; der dadurch bedingte Unterschied in der Deutlichkeit des Sehens werde durch Verlängerung des Augapfels ausgeglichen; wie diese aber zustande kommen soll, ist nicht einzusehen, da eine ungleiche Akkommodation, die Schneller als Ursache angenommen hatte, dabei keine Rolle spielen kann, wie Sulzer selbst anerkennt.

Straub hat zur Erklärung des öfter beobachteten Zusammentreffens von Hypermetropie eines Auges mit Amblyopie die Hypothese aufgestellt, dass das von Geburt amblyopische Auge die normale Hypermetropie des Säuglings behalte, weil es die Refraktionszunahme des gut funktionierenden Auges, das schließlich (durch Steigerung des Ciliarmuskeltonus) emmetropisch werde, nicht mitmache. Auch diese Annahme widerspricht unseren Kenntnissen von der gleichmaßigen Innervation der inneren Augenmuskeln; (übrigens erscheint auch die Lehre von der Amblyopia ex anopsia, als deren Gegner Straub sich bei Erörterung dieser Fragen bekennt, nach den oben mitgeteilten Untersuchungen genügend fest begründet; keinenfalls wird die Amblyopie hypermetropischer Schielaugen in allen Fallen als angeboren bezw. dem Strabismus vorausgehend betrachtet werden können.)

Für manche einseitig Kurzsichtige ergiebt sich eine gewisse Schwierigkeit beim Sehen von Gegenständen, die jenseits des Fernpunktes des

myopischen Auges liegen, da ihnen die hierbei für das emmetropische nötige Akkommodationsanstrengung ungewohnt ist (Fuchs). Bei einseitiger oder einseitig stärker entwickelter Hypermetropie wird im allgemeinen wegen der geringeren Anstrengung das weniger hypermetropische Auge zum Sehen bevorzugt, sofern nicht das stärker hypermetropische bessere Sehschärfe hat.

§ 215. Auch die Augenbewegungen bei Anisometropie folgen den Gesetzen der angeborenen Verknüpfung von Convergenz und Akkommodation: Bei Emmetropie des einen und Kurzsichtigkeit des anderen Auges stehen im allgemeinen (in unkomplizierten Fällen) beim Nahesehen mit einem Auge die Blicklinien einander angenähert parallel, wenn das kurzsichtige Auge einen in seinem Fernpunkte liegenden Gegenstand fixiert, dagegen konvergieren sie auf diesen Abstand bei Fixieren mit dem emmetropischen Auge. Diese Association lässt sich meist auch nachweisen, wenn die Anisometropie mit dynamischer Convergenz oder Divergenz kompliziert ist. A. v. Graefe beschrieb schon derartige Fälle, wo bei Myopie des einen und Hypermetropie des anderen Auges zugleich »Insufficienz der Recti interni« bestand; bei Fixieren mit dem hypermetropischen Auge weicht das kurzsichtige unter der deckenden Hand nach innen ab, bei Fixieren mit dem myopischen aber das übersichtige nach außen. Weicht aber das jeweils verdeckte Auge stets nach außen ab, so ist die Abweichung geringer, wenn das hypermetropische fixiert, als beim Fixieren mit dem nicht hypermetropischen. Es sei darauf hingewiesen, dass auch derartige Fälle nach der nativistischen Anschauung leicht verständlich sind, mit der empiristischen dagegen sich kaum in Einklang bringen lassen.

§ 216. Über die Ursachen der anisometropischen Refraktion ist wenig bekannt. Donders machte auf Schädelasymmetrien bei Anisometropie aufmerksam. Er fand, »dass an jener Seite, wo die längste Sehachse sich befindet, die Orbita und mit ihr das Auge näher an der Medianlinie steht, während die Ränder der Orbita mehr nach vorn gerückt sind. Differieren die rechte und die linke Hälfte in dieser Beziehung voneinander, so findet man auch im allgemeinen eine Verschiedenheit im Refraktionszustande und umgekehrt«.

Auch Landolt und Horner haben hierauf bezügliche Angaben gemacht. Landolt findet auf der Seite des Auges mit der stärkeren Brechung die stärker gewölbte Stirn; Horner fand das Gesicht auf der Seite der Kurzsichtigkeit lang und schmal, auf der Seite der Übersichtigkeit kurz, flach, in die Breite gezogen, den Augenbrauenbogen über dem myopischen Auge flacher. Nach der Stilling'schen Theorie soll bekanntlich Breitgesichtigkeit zu Myopie, Schmalgesichtigkeit zu Hypermetropie disponieren; Herrnheiser untersuchte zahlreiche Anisometropische auf ihren Schädel-

bezw. Augenhöhlenbau, ohne die nach dieser Theorie zu erwartenden Differenzen in der Bildung beider Orbitae zu finden.

Der Begriff der Anisometropie wird von einigen Forschern etwas weiter gefasst, als im vorstehenden geschehen ist. So hat man wohl auch die durch einseitige Schwäche oder Lähmung der Akkommodation bedingten Anomalien als Anisometropie bezeichnet; es ist ja einleuchtend, dass die funktionellen Störungen unter gewissen Voraussetzungen jenen bei Verschiedenheit der statischen Refraktion ähnlich sein können. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Formen ist dadurch gegeben, dass bei der einseitigen Akkommodationsparese, die man etwa als dynamische Anisometropie unterscheiden könnte, die Refraktionsdifferenz beider Augen mit der Akkommodation des gesunden wechselt, während sie bei statischer Anisometropie stets gleich bleibt. Hierin dürfte auch der Hauptgrund dafür zu suchen sein, dass die dynamische Anisometropie so viel größere subjektive Störungen macht, als die statische, von der ja häufig die Betroffenen gar keine Kenntnis haben. Neben diesem Umstande kommt zur Erklärung der Verschiedenheit der Störungen noch in Betracht, dass die dynamische Anisometropie meist später erworben wird, die statische aber in der größeren Zahl der Fälle von Jugend auf besteht. (Dass eine mit der Akkommodationsparese etwa verbundene Pupillenerweiterung diese Störungen noch mehr steigern wird, bedarf keiner besonderen Erörterung.)

§ 217. Auch für die Gläserkorrektion bei Anisometropie ist in erster Linie wieder zu berücksichtigen, dass keine noch so kleine Differenz zwischen beiden Augen durch ungleiche Akkommodation gedeckt wird. Danach wird a priori die vollständige Korrektion eines jeden Auges für sich nach den für Ametropie überhaupt geltenden Gesichtspunkten als das rationellste erscheinen. Thatsächlich aber ist lange Zeit die Donders'sche Ansicht maßgebend gewesen, dass man in der Regel für beide Augen gleiche Gläser geben solle, wenn für Augen von verschiedener Refraktion in irgend einer Entfernung das binoculare Sehen ohne Gläser scharf und bequem ist und eine Veränderung dieser Entfernung sich nötig erweist; wenn man von dieser Regel aber abgehe, so solle die Verschiedenheit der Gläser $\frac{1}{40}$ oder $\frac{1}{30}$ (1–1,5 Dioptrien) nicht übertreffen. Zu dieser Annahme wurde Donders durch die Voraussetzung geführt, dass, wenn die Distanz des Deutlichsehens durch ungleiche Gläser gleichgemacht wird, die Bilder in beiden Augen nicht gleich, sondern vorzugsweise der Größe nach verschieden würden. Dieser Voraussetzung kommt indes keineswegs allgemeine Giltigkeit zu: wenn man z. B. ein achsenmyopisches Auge bei emmetropischem anderem oder 2 verschieden stark achsenmyopische Augen durch im vorderen Brennpunkte befindliche Gläser voll korrigiert, so sind bekanntlich die Netzhautbildgrößen beiderseits gleich groß. Und auch in anderen

Fällen (z. B. bei einseitiger Aphakie) werden die Netzhautbilder durch die Korrektion jedenfalls einander viel ähnlicher, als sie es ohne diese waren. Die zu große Verschiedenheit der Bilder nach der Korrektion kann also nicht wohl als Ursache einer Störung angeschuldigt werden, die bei viel größerer Verschiedenheit dieser Bilder nicht bestanden hatte.

Ungleiche Größe beider Netzhautbilder kommt innerhalb enger Grenzen bei vielen Beschäftigungen (z. B. Lesen) auch beim Normalen vor, ohne dass dadurch merkliche Störungen veranlasst würden. Wenn beim Lesen eines in ca. 20 cm Abstand befindlichen Buches die Medianebene des ruhig gehaltenen Kopfes sich in der Zeilenmitte befindet, so beträgt für Anfang und Ende der Zeile der Unterschied ihres Abstandes von beiden Augen ungefähr 2 cm, das Netzhautbild des einen Auges ist also ungefähr um $^1/_{10}$ größer, als das des anderen; bei Annäherung des Buches auf 10 cm beträgt der entsprechende Unterschied ca. 3 cm, das Netzhautbild des einen Auges ist dann ungefähr $^1/_3$ größer, als das des anderen. In einem Abstande von 20 cm macht das binoculare Lesen im allgemeinen keine Schwierigkeiten (genügende Akkommodation selbstverständlich vorausgesetzt); manche Kurzsichtige lesen in 10 cm Abstand binocular ohne große Mühe. Ebensowenig wie die verschiedene Größe stort in diesem Falle die verschiedene Deutlichkeit, in welcher (wegen der Unmöglichkeit ungleicher Akkommodation) die Buchstaben im allgemeinen erscheinen müssen, sofern ein Auge genau auf den Abstand der Schrift eingestellt ist.

Auch die folgende Angabe von Donders könnte zu irrigen Auffassungen Anlass geben: Im Anschlusse an die bekannte Thatsache, dass für ein normales Augenpaar auch eine gewisse Differenz der beiden Netzhautbilder nicht mit wesentlichen Störungen verbunden ist, bemerkt er: »Überschreitet jedoch die Differenz in der Größe einen gewissen Grad, so wird augenscheinlich Doppeltsehen auftreten, indem dem einen Auge größere, dem anderen kleinere Buchstaben entsprechen, welche nicht zur Deckung gebracht werden können, weshalb man geneigt ist, sie durch Ablenken der einen Sehlinie nach außen noch weiter voneinander zu trennen«. Die Angabe des Schlusssatzes ist nicht zutreffend. Im allgemeinen lässt sich eine solche Ablenkung bei ungleicher Netzhautbildgröße an Augen mit normalen Muskelverhältnissen nicht beobachten; etwas ganz anderes ist es aber, wenn bei ohnehin schon vorhandener stärkerer Insufficienz der betreffenden Muskeln durch große Verschiedenheit beider Netzhautbilder das Interesse am binocularen Einfachsehen vermindert wird, sodass die Augen ohne Widerstand den am stärksten wirkenden Augenmuskeln folgen. Wenn Donders annimmt, dass dasselbe geschehe, »wenn eine gleiche deutliche Sehweite bei großer Differenz in der Refraktion durch Verschiedenheit in den Gläsern zuwege gebracht wurde«, so scheint mir auch dies nicht zutreffend. Denn das »Geneigtsein, die beiden Bilder durch Ablenken der einen Sehlinie noch weiter voneinander zu trennen«, müsste ja danach im nicht korrigierten Auge infolge der viel größeren Differenz der Bilder noch viel mehr hervortreten, als im korrigierten. Donders gab aber selbst ganz

zutreffend an, »dass durch Verschiedenheit im Refraktionszustande nie Ablenkung hervorgerufen wird. Höchstens kann diese Verschiedenheit daran Schuld sein, dass die Ablenkung nicht verhindert wird«.

Viele Anisometropische empfinden bei dem ersten Versuche zu einer vollen Korrektion beider Augen ein gewisses Unbehagen. Nachdem der DONDERS'sche Erklärungsversuch hierfür sich als unzulänglich erwiesen hat, dürfte wenigstens für eine Reihe von Fällen in den noch ungewohnten Anforderungen an das Sehorgan ein Grund für jenes Unbehagen zu suchen sein. Wenn z. B. ein einseitig Kurzsichtiger, der gewohnt war, in der Nähe nur das myopische Auge zu benutzen und daher stets ganz oder fast ganz ohne Akkommodation auskam, eine Korrektion für dieses Auge erhält, die ihm das Lesen nur mit Hilfe einer Akkommodationsanstrengung gestattet, so mag dies wohl, insbesondere im Anfange, ein gewisses Unbehagen veranlassen. Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht die Erfahrung, dass häufig solche Anisometropische, welchen die ungleiche Korrektion anfangs unangenehm war, sich in verhältnismäßig kurzer Zeit, oft in wenigen Tagen, daran gewöhnen und dann mit ihrer Brille auf die Dauer durchaus zufrieden sind. Dass zweifellos auch wesentlich größere Gläserdifferenzen als 1—1,5 Dioptrien ohne die geringste Störung getragen werden, ist schon von MAUTHNER angegeben und in den letzten Jahren mehrfach wieder betont worden, so von THEOBALD, DUANE u. a. Ich kenne einen Juristen, der an einem Auge wegen Myopie operiert, bei beiderseits guter Sehschärfe seit Jahren für die Nähe am einen Auge + 7 D., am anderen — 5 D. ohne Beschwerden trägt. Dass Gläserdifferenzen von 4—7 Dioptrien oft ohne Störung vertragen werden, habe ich vielfach erfahren; allerdings gilt solches nicht allgemein; manchen Patienten ist auch auf die Dauer eine größere Gläserdifferenz nicht angenehm. Ich pflege daher in der Weise zu verfahren, dass ich zunächst versuchsweise jedes Auge für sich nach den bei Ametropie allgemein giltigen Regeln korrigiere. Werden auch nach 2- bis 3 wöchiger Übung diese Gläser nicht gut vertragen, so korrigiere ich das bessere Auge nach den allgemein giltigen Regeln und suche das andere wenigstens annähernd bezw. soweit zu korrigieren, dass es eine einigermaßen brauchbare Sehschärfe erhält. Bei einseitiger Aphakie eines angenähert emmetropisch gewesenen Augenpaares ist es im allgemeinen zweckmäßig, nur das Auge mit der besseren Sehschärfe zu berücksichtigen; ist die Sehschärfe beiderseits gleich, so wird man nur das linsenhaltige Auge korrigieren. Nach einseitiger Linsenentfernung wegen hochgradiger Kurzsichtigkeit beider Augen ist es oft zweckmäßig, das operierte Auge, wenn nötig, für die Ferne, und etwa auch für einen Abstand von 25—30 cm zu korrigieren, vor das nicht operierte aber ein Planglas zu setzen, um deutliches Sehen auch bei starker Annäherung des Objektes zu ermöglichen; dass solche Regeln aber nicht allgemein giltig sind, zeigt schon der vorher

erwähnte, von mir beobachtete Fall. Die volle Korrektion ist insbesondere dann nachdrücklich zu versuchen, wenn dadurch das weniger gute Auge Interesse an einem gemeinschaftlichen Sehakte erhält; aber auch dann, wenn das eine Auge viel schwächer ist, als das andere, infolgedessen zum gemeinsamen Sehakte nicht benutzt wird und daher leicht in Schielstellung übergeht, sollte man doch immer ein solches Glas verordnen, das die Sehfähigkeit des Auges nach Möglichkeit hebt und außerdem durch häufige Übungen einen Einfluss auf dessen Sehschärfe zu gewinnen suchen.

Donders meint, dass »ein gewisser Spielraum für die korrespondierenden Punkte«, den es selbst für normale und gleiche Augen gebe, größer sein werde, »wenn wegen ursprünglicher Ungleichheit in beiden Augen die Bedingung, diese Punkte durch Übung immer vollkommener zu einer unveränderlichen, symmetrischen Lage zu verbinden, abgeht«. In den thatsächlichen Beobachtungen an Anisometropischen lassen sich keine Stützen für eine solche Auffassung finden; dagegen machen die oben erwähnten Untersuchungen Bielschowsky's und Tschermak's an Schielenden die Donders'sche Meinung sehr unwahrscheinlich. Es zeigte sich dort, dass zwar in manchen Schielaugen eine anomale Korrespondenz der Netzhäute sich entwickeln kann, die aber »keinen Ersatz, sondern höchstens ein minderwertiges Surrogat für die normale Korrespondenz liefert« und deren Funktionen sich nur sehr unvollkommen entwickelt vorfinden. Die normale, angeborene Korrespondenz geht auch bei langem Bestande einer früh erworbenen Schielablenkung nicht verloren, sondern kann unter günstigen Bedingungen jeder Zeit wieder hervortreten und ihre Fähigkeiten in vollem Umfange wieder entwickeln (Bielschowsky). Danach lässt sich nicht wohl mit den Empiristen annehmen, dass diese normale Korrespondenz nicht voll zur Entwicklung komme, wenn beide Augen nicht ganz gleiche Netzhautbilder erhalten.

Litteratur.

Sehen mit 2 Augen und relative Akkommodationsbreite.

1759. Porterfield, A treatise on the eye. Edinburgh.
1821. Weber, E. H., Summa doctrinae de motu iridis.
1826. Müller, Johannes, Vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes.
1835. Plateau, l'Institut. S. 103.
1836. Ruete, Neue Untersuchungen und Erfahrungen über das Schielen und seine Heilung. Göttingen.
Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes.
1846. Donders, Holländische Beiträge zu den anatomischen und physiologischen Wissenschaften.
1848. Donders, Über den Zusammenhang zwischen dem Convergieren der Sehachsen und dem Akkommodationszustande der Augen. Holl. Beitr. zu d. anat. u. physiol. Wissensch. I. S. 379.
1858. Graefe, A., Über die Störungen des gemeinschaftlichen Sehens. Deutsche Klinik. X. S. 82.

1858. Mac Gillavry, Onderzoekingen over de hoegrootheid der Accommodatie.
Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit 2 Augen. Kiel.
1864. Hering, E., Beiträge zur Physiologie. V.
1865. Helmholtz, Über die Augenbewegungen. Verh. d. naturhist. Vereins Heidelberg. Heidelberger Jahrb. d. Litteratur.
1866. Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation.
1868. Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen. Leipzig, Engelmann.
1872. Donders, Über angeborene und erworbene Association. Arch. f. Ophth. XVIII, 2. S. 153.
1876. Donders, Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen. Pflüger's Arch. f. Physiol. XIII. S. 373.
1877. Raehlmann und Witkowsky, Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 454.
1879. Biesinger, Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Akkommodation und Convergenz der Blicklinien. Inaug.-Diss. Tübingen.
Hering, Hermann's Handbuch der Physiologie der Sinnesorgane. III.
1880. Nagel, Mitteilungen aus der ophthalmiatrischen Klinik in Tübingen.
Ulrich, L., Ätiologie des Strabismus convergens. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 156.
1883. Landolt, Sur l'ophtalmodynamomètre; présentation d'un instrument construit pour mesurer la convergence et l'accommodation. Bull. et Mém. de la Soc. franç. d'Opht. S. 25.
1884. Reymond, Sui rapporti dell' accommodamento colla convergenza. Atti della R. Accad. di Med. di Torino. V.
1886. Maddox, Ernest E., Investigations in the relation between convergence and accommodation of the eyes. Ophth. Rev. S. 341 und Journ. of Anat. and Physiol. Oct. S. 21 u. 475.
1888. Reymond et Stilling, Des rapports de l'accommodation avec la convergence et de l'origine du strabisme. Straßburg.
1889. Pereles, Über die relative Akkommodationsbreite. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXV, 4.
1891. Berry, On some points with reference to the connection between accommodation and convergence. Ophth. Rev. S. 96.
Secondi, Studio sperimentale dell' associazione strettamente sinergica tra l'accommodamento e la convergenza. Ann. di Ottalm. XX, 1.
Snellen, H., Über Beschränkung der Convergenz und der Akkommodation bei seitlichem Blick. Bericht über d. 21. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 113.
1892. Archibald, Percifal, The relation of convergence to accommodation and its practical bearing. Ophth. Rev. S. 313.
Eysselstein, Over de accommodatie en convergentie by zijdelingschen blick. Proefschrift. Utrecht.
Sachs, Über das Verhalten der Akkommodation beim Blick nach aufwärts und abwärts. Arch. f. Ophth. XXXVI, 1. S. 213.
1893. Fischer, Karl, Über die Beziehungen zwischen der Akkommodation und Convergenz der Blicklinien. Inaug.-Diss. Halle.
Schmiedt, W., Über die relative Fusionsbreite bei Hebung und Senkung der Blickebene. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXIX, 4.
1894. Graefe, A., Akkommodation und Convergenz. Arch. f. Ophth. XLIV, 3. S. 596.
Stevens, Relation of the function of accommodation to that of convergence. Transact. of the eighth internat. ophth. Congr. Edinburgh.
1896. Koster, Akkommodation und Convergenz bei seitlicher Blickrichtung. Arch. f. Ophth. XLII, 1. S. 140.
1899. Hess, C., Über den Zusammenhang zwischen Akkommodation und Convergenz. 9. internat. Kongr. Utrecht. S. 289.

1899. Reddingius, Sur une irritabilité exagérée de la convergence et sur le rôle de la divergence. Ann. d'Ocul. CXXI. S. 112.
van der Brugh, Twee stellingen uit de theorie van Reddingius. Nederl. Oogh. Bijdr. VIII.
1901. Hess, C., Die relative Akkommodation. Arch. f. Ophth. LII, 1. S. 143.

Ungleiche Akkommodation und Anisometropie.

1749. Buffon, Histoire naturelle. III. S. 331. Paris.
1866. Donders, Anomalien der Refraktion und Akkommodation.
1867. Kaiser, Ein Fall von Anisometropie. Arch. f. Ophth. XIII, 2.
1868. Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen. Leipzig, Engelmann.
1870. Schneller, Beiträge zur Lehre von der Akkommodation und Refraktion Arch. f. Ophth. XVI. S. 176.
1877. Rumpf, Zur Lehre von der binocularen Akkommodation. Inaug.-Diss. u. Beilageheft zu Klin. Monatsbl. XV.
1881. Landolt, Relations between the conformation of the cranium and that of the eye. Brit. med. Journ. I. S. 507.
1883. Leduc, Contribution à l'étude de l'anisométropie. Arch. d'Opht. S. 534.
1884. Theobald, Some instructive cases of ametropia. Amer. Journ. of Ophth. S. 71.
1885. Fuchs, Sehstörung durch Anisometropie. Arch. f. Augenheilk. XV. S. 1.
1887. Fick, A. E., Über binoculare Akkommodation. Separatausgabe aus dem Korrespondenzbl. f. Schweizer Ärzte. XVII.
1888. Fick, A. E., Über ungleiche Akkommodation bei Gesunden und Anisometropen. Arch. f. Augenheilkunde. XIX. S. 123.
1889. Hess, Versuche über die angebliche ungleiche Akkommodation bei Gesunden und Anisometropen. Arch. f. Ophth. XXXV, 4. S. 157.
1891. Greeff, Zur Vergleichung der Akkommodationsleistung beider Augen. Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 371.
Hess, Bemerkungen zu dem Aufsatze von Schneller: »Beiträge zur Theorie des Schielens«. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVII, 1. S. 258.
1892. Bettrémieux, Contribution à l'étude de l'anisométropie. Journ. d'Ocul. du Nord de la France. Lille.
Fick, Noch einmal die ungleiche Akkommodation. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 2. S. 204.
Hess, Kritik der neueren Versuche über das Vorkommen ungleicher Akkommodation. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 3. S. 169.
Hess und Neumann, F., Messende Versuche zur Frage nach dem Vorkommen ungleicher Akkommodation beim Gesunden. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 3. S. 184.
Schneller, Zur Lehre von den dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XXXVIII, 1. S. 71.
1893. Bigler, Anisometropy. Journ. of Ophth., Otol. and Laryng.
Mansfield, The relation of binocular vision with two glasses of different strengths. Ann. of Ophth. and Otol. St. Louis. S. 80.
1894. Scroczynski, Anisometropen. Verh. poln. Ärzte zu Lemberg.
1895. Axenfeld, Bemerkungen zur Akkommodation im erblindeten und schielenden Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 445.
Fick, Einiges über Akkommodation. Festschr. z. Feier d. 70. Geburtstags d. Herrn Geh. Medizinalrats Prof. Dr. Förster in Breslau. Wiesbaden, J. F. Bergmann. S. 105.
Greeff, Physiologische Beobachtungen. Akkommodation im erblindeten Auge. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 322.
Hess, C., Kritische Bemerkungen zur Frage nach dem Vorkommen ungleicher Akkommodation. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLI, 4. S. 283.

1895. Ovio, Sul fenomeno della ineguale accommodazione. Ann. di Ottalm. XXIV. S. 176.
1896. Hess, Über die angeblichen Beweise für das Vorkommen ungleicher Akkommodation. Arch. f. Ophth. XLII, 3. S. 249.
Jackson, The correction of anisometropia. Amer. Journ. of Ophth. S. 289.
Koster, Die Akkommodation und die Convergenz bei seitlicher Blickrichtung. v. Graefe's Arch. f. Ophth. XLII, 1. S. 140.
Lechner, Abnorme willkürliche Augenbewegungen. Arch. f. Ophth. XLIV, 3. S. 596.
Zimmermann, Accommodation in the amaurotic eye. Arch. of Ophth. XXV. S. 1.
1900. Grussendorf, Untersuchungen über den binocularen Sehakt bei einseitiger Aphakie. Inaug.-Diss. Göttingen.
Jackson, Management of high anisometropia. Amer. med. Assoc. Sect. of Ophth. Ophth. Rev. S. 353.
1901. Duane, Anisometropia. Arch. of Ophth. XXX, 6.

Zur Amblyopia ex anopsia.

1878. Graefe, A., Motilitätsstörungen. Handb. v. Graefe-Saemisch. 1. Aufl.
1880. Romiée, De l'amblyopie dans le strabisme convergent. Ann. de la Soc. méd. de Liège.
1881. Schweigger, Klinische Mitteilungen über das Schielen.
1889. Javal, Sur le rétablissement de la vision binoc. chez les strabiques. Compt. rend. de la soc. de biol. IX, 1. S. 596.
1893. Johnson, Walter, Suppression of the visual image. Transact. Amer. Ophth. Soc. Twenty-ninth Meet. S. 551.
Lewillion, Contribution à l'étude de l'amblyopie dans le strabisme convergent. Ann. d'Ocul. CIX. S. 24.
1895. Schweigger, Die Erfolge der Schieloperation. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 165.
1896. Straub, Statistische Beiträge zum Studium der Amblyopia congenita. Arch. f. Augenheilk. XXXIII. S. 167.
1898. Hoor, Giebt es eine Amblyopie durch Nichtgebrauch als Folgezustand des Schielens? Wiener med. Wochenschr. No. 20.
1899. Klein, Giebt es eine Amblyopia ex anopsia? Wiener med. Wochenschr. No. 20.
Parinaud, Le strabisme et son traitement. Paris.
1899. Sachs, Kann Schielen Schwachsichtigkeit verursachen? Wiener klin. Wochenschr. No. 25.
Schnabel, Klinische Beiträge zur Lehre der Augenmuskellähmung und zur Lehre vom Schielen. Wiener klin. Wochenschr. No. 22.
1900. Axenfeld, Ein Beitrag zur Lehre vom Verlernen des Sehens. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Beilageheft.
Herrnheiser, Zur Frage der Amblyopia ex anopsia. Wochenschr. f. Therapie u. Hygiene d. Auges. III. No. 41.
Silex, Giebt es eine Amblyopie aus Nichtgebrauch? Deutsche med. Wochenschrift. 12. Juni.
1901. Rogman, Existe-t-il une amblyopie par anopsie? Ann. d'Ocul. CXXVI.

Insufficienz und Strabismus[1].

1826. Müller, Joh., Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Tiere. Leipzig.

1 Da eine ausführliche Erörterung des Strabismus nicht in dem Plane unserer Arbeit lag, beschränke ich mich auch hier auf die Anführung der in vorstehendem erwähnten sowie der vorwiegend benutzten Arbeiten.

1854. v. Graefe, Über das Doppeltsehen nach Schieloperationen und Inkongruenz der Netzhäute. Arch. f. Ophth. S. 82.
1861. Hering, Beiträge zur Physiologie.
Nagel, Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.
1862. v. Graefe, Über muskuläre Asthenopie. Arch. f. Ophth. VIII, 2. S. 314.
1870. v. Graefe, Scheinbare Perversion des Gesetzes über concom. Ablenkungen bei gewissen Formen von Anisometropie. Arch. f. Ophth. XVI, 1. S. 104.
1871. Mannhardt, J., Über das Convergenzvermögen, dessen Leistungen, Bedingungen und Wirkungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. S. 429.
Schweigger, Das Schielen. Die Erfolge der Schieloperation. Berlin.
1873. Krenchel, Über die krankhaft herabgesetzte Fusionsbreite als Ursache des Schielens. Arch. f. Ophth. XIX. S. 142.
1885. Landolt, L'amplitude de convergence. Arch. d'Opht. V.
Landolt, Über die Insufficienz des Convergenzvermögens. Bericht d. ophth. Ges. zu Heidelberg.
1886. Stevens, Nomenclature des différents états réunis sous le nom d'insuffisance musculaire. Arch. d'Opht. S. 536.
1887. Landolt, Strabisme non paralytique. 7. internat. ophth. Kongr. in Heidelberg. S. 41.
Lippincott, Hyperaemia in muscular insufficiency. Amer. Journ. of Ophth. S. 193.
1888. Reymond und Landolt, Le traitement du strabisme. 7. internat. ophth. Kongr. in Heidelberg. S. 48 u. 71.
Hansen Grut, Bidrag til lären om skelens pathogeni. Nord. ophth. Tidsskr. I. S. 3.
1889. Schiötz, Ein Beitrag zur Lehre von den Verhältnissen der Augenmuskeln. Arch. f. Augenheilk. XX. S. 1.
1890. Pedrazzoli, Un ottodinamometro. Ann. di Ottalm. XIX. S. 423.
1891. Berry, On the persistance of constantly called for states of innervation as a factor in the latent and manifest lateral deviations of the eye. Festschr. f. Helmholtz. S. 69.
Burnett, Contribution to the study of heterophoria and relation to asthenopia, headache and other nervous symptoms. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 27.
Gradle, A new method of determining latent squint and insufficiencies of ocular muscles. West. med. Rep. Chicago. S. 3.
v. Graefe, Über Fusionsbewegungen des Auges beim Prismaversuche. Arch. f. Ophth. XXXVII, 1. S. 243.
Parinaud, Etiologie du strabisme divergent. Ann. d'Ocul. CVI. S. 321.
Theobald, Subnormal accommodation power in young people a not infrequent cause of asthenopia. Transact. Amer. Ophth. Soc. S. 27.
1892. Peabrock, Some squint statistics. Arch. of Ophth. XXI. S. 234.
Schneller, Zur Lehre von den dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen. Arch. f. Ophth. XXXVIII, 1. S. 71.
1894. Weiss, Über das Schielen, insbesondere über Kopf- und Gesichtsbildung bei jugendlichen Schielenden. 8. internat. ophth. Kongr. in Edinburgh. S. 348.
Hansen Grut, Die Schieltheorien. Arch. f. Augenheilk. XXIX. S. 69.
1896. Javal, Manuel du strabisme. Paris, Masson.
Simon, Zur Lehre von der Entstehung der koordinierten Augenbewegungen. Zeitschr. f. Physiol. u. Psychol. XII. S. 102.
Smith, Pr., The Ingleby lectures on the mechanism of binocular vision and the causes of strabism. Brit. med. Journ. 20. u. 27. Juni.
1897. Sachs, Über das Sehen der Schielenden. Arch. f. Ophth. XLIII. S. 606.

1898. Bielschowsky, Über monoculare Diplopie ohne physikalische Grundlage nebst Bemerkungen über das Sehen Schielender. Arch. f. Ophth. XLVI, 1. S. 143.

Hering, Über die anomale Lokalisation der Netzhautbilder bei Strabismus alternans. Deutsches Arch. f. klin. Med. LXIV. S. 15.

Priestley Smith, On the etiology and educative treatment of convergent strabism. Bowman lecture. Transact. Ophth. Soc. of the Unit. Kingd. XVIII.

Reddingius, Das sensumotorische Sehwerkzeug. Leipzig, Engelmann.

Reddingius, Erhöhte Erregbarkeit der Akkommodation. Arch. f. Ophth. XLV, 2. S. 374.

1899. Bull, Fatigue from the effort to maintain binocular single vision. 9. internat. Kongr. in Utrecht. S. 299.

Landolt, Un nouveau stéréoscope destiné au rétablissement de la vision binoculaire. 9. internat. Kongr. in Utrecht. S. 86.

Parinaud, Le strabisme et son traitement. Paris.

Reddingius, Die Fixation. Zeitschr. f. Physiol. u. Psychol. d. Sinnesorgane. XXI. S. 417.

Reddingius, Over het wezen van scheelzien en de indicatie voor operatief ingrijpen. Haag.

Sachs, Über das Alternieren der Schielenden. Arch. f. Ophth. XLVIII, 2.

Tschermak, Über anomale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. Arch. f. Ophth. XLVII, 3. S. 508.

1900. Bielschowsky, Untersuchungen über das Sehen der Schielenden. Arch. f. Ophth. L, 2. S. 406.

Schlodtmann, Studien über anomale Sehrichtungsgemeinschaft bei Schielenden. Arch. f. Ophth. LI, 2. S. 256.

Tschermak, Über physiologische und pathologische Anpassung des Auges. Vortrag. Leipzig.

